SZENT ISTVÁN EGYETEM

DOKTORI (Ph.D.) ÉRTEKEZÉS

MŰSZAKI LEHETŐSÉGEK A PERMETEZŐGÉPEKKEL VÉGZETT VEGYSZERKIJUTTATÁS KÖRNYEZETTERHELŐ HATÁSAINAK CSÖKKENTÉSÉRE

Gulyás Zoltán

Gödöllő

2013.

A doktori iskola

megnevezése: Környezettudományi Doktori Iskola
tudományága: Környezettudomány

vezetője: Dr. Heltai György
egyetemi tanár, D.Sc.
Szent István Egyetem
Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar
Környezettudományi Intézet
Kémia és Biokémia Tanszék

Témavezető: Dr. Szoboszlay Sándor
egyetemi docens, Ph.D.
Szent István Egyetem
Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar
Környezet- és Tájgazdálkodási Intézet
Környezetvédelmi és Környezettudományi Tanszék

Témavezető: Dr. Fenyvesi László
egyetemi tanár, Ph.D.
Szent István Egyetem
Gépészmérnöki Kar
Mechanikai és Géptani Intézet
Agrár-műszaki kihelyezett Tanszék

....

Az iskolavezető jóváhagyása
(Dr. Heltai György)

A témavezető jóváhagyása
(Dr. Szoboszlay Sándor)

.....

A témavezető jóváhagyása
(Dr. Fenyvesi László)

TARTALOMJEGYZÉK

JELÖLÉSEK, RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE **2**
1. BEVEZETÉS **3**
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS **9**
2.1 A növényvédelmi eljárások csoportosítása, rövid jellemzése 9
2.2 A szórástechnikai eljárások fontosabb jellemzői 9
2.3 A permetezés műszaki technológiája 12
2.3.1 A permetezés minőségét meghatározó fontosabb tényezők 13
2.3.1.1 A szórófejek, fúvókák működési jellemzői 13
2.3.1.2 A permet elosztása a célfelületen, a szórószerkezetek kivitele 16
2.3.2 A permetezés veszteségeit meghatározó tényezők 21
2.3.3 Hidraulikus cseppképzés, szántóföldi permetezés során alkalmazott szórófejek, fúvókák 22
2.3.3.1 Ütközőlapos szórófejek 24
2.3.3.2 Réses szórófejek 25
2.3.3.3 TwinFluid rendszer, TwinFluid szórófejek 30
2.3.4 Szántóföldi permetezőgépek anyagtakarékos, környezetkímélő műszaki megoldásai 32
2.3.4.1 A szélsebességnek megfelelően változtatható cseppméretű permetezés 32
2.3.4.2 Burkolóelemekkel felszerelt szántóföldi szórószerkezetek 35
2.3.4.3 Levegő-rásegítéses permetezés 36
2.3.4.4 Precíziós gazdálkodás, helyspecifikus permetezés 40
3. ANYAG ÉS MÓDSZER **45**
3.1 Cseppképzés-vizsgálatok 46
3.2 Elsodródás-vizsgálatok szélcsatornában 53
3.3 Statisztikai elemzés 55
4. EREDMÉNYEK **57**
4.1 TeeJet gyártmányú TP11004VP, DG11004VS, AIXR11004VP és AI11004VS réses fúvókák vizsgálata 57
4.1.1 Cseppképzés-vizsgálatok 57
4.1.2 Elsodródás-vizsgálatok szélcsatornában 59
4.2 A TwinFluid 042/TK-SS10 típusú szórófej vizsgálata 66
4.2.1 Cseppképzés-vizsgálatok 66
4.2.2 Elsodródás-vizsgálatok szélcsatornában 67
4.3 Új tudományos eredmények (tézisek) 71
5. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK **73**
6. ÖSSZEFOGLALÁS **81**
7. SUMMARY **85**
8. MELLÉKLET **89**
Irodalomjegyzék 89
9. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS **99**

JELÖLÉSEK, RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE

ANOVA: varianciaanalízis

BCPC: Brit Növénytermesztési Tanács

d: lineáris közepes cseppátmérő (számított középértékként számtani átlag)

d_s: felszín szerinti közepes cseppátmérő (számított középértékként számtani átlag)

d_v: térfogat szerinti közepes cseppátmérő (számított középértékként számtani átlag)

d_{v10}: térfogat szerinti 10 %-os cseppátmérő

d_{v50}: térfogat szerinti 50 %-os cseppátmérő

d_{v90}: térfogat szerinti 90 %-os cseppátmérő

d_{vs}: térfogat-felületi középérték vagy Sauter-féle átlag (számított középértékként számtani átlag)

ENTAM: Mezőgépvizsgáló Intézmények Európai Hálózata

GPS: Globális Helymeghatározó Rendszer

GIS: Földrajzi Információs Rendszer

MGI: VM Mezőgazdasági Gépesítési Intézet

NMD: lineáris közepes cseppátmérő (helyzeti középértékként medián)

P-érték: statisztikai próbáknál: szignifikancia szint

Q-Q ábra: az adatok eloszlásának (kiemelten a normalitásnak) grafikus teszteléséhez (szemrevételezés) használatos pontdiagram

SMD: felszín szerinti közepes cseppátmérő (helyzeti középértékként medián)

VMD: térfogat szerinti közepes cseppátmérő (helyzeti középértékként medián)

α: statisztikai próbák vonatkozásában: konfidencia intervallum

1. BEVEZETÉS

A növényvédelem minden növénytermesztési technológia nélkülözhetetlen eleme. Egyrészt a termelés biztonságát szolgálja, másrészt megfelelő minőségű termények előállítását teszi lehetővé a szükséges mennyiségben, továbbá kiemelten fontos szerepet tölt be a termesztés eredményességében (Dimitrievits és Gulyás, 2011). Székács (1999), Ángyán et al. (2004), valamint Szoboszlay és Kriszt (2010) szerint a vegyszeres növényvédelem különleges jelentőséggel bír a környezetre gyakorolt hatásai miatt is.

A vegyszeres növényvédelem hatékonyságát, minőségét, környezeti elemekre kifejtett hatásait tekintve kulcsfontosságú szerepe van a növényvédelem gépesítésének (Balázs és Dimitrievits, 1979; Balázs et al., 1984; László, 1997; Csizmazia, 2006). A termesztett növényeket kizárólag akkor lehet jó eséllyel megóvni a kártevők, a kórokozók és a gyomnövények terméscsökkentő, minőségrontó hatásától, ha a kellő hozzáértéssel megválasztott peszticidek (növényvédő szerek) kijuttatása a kezelendő növényekre vagy a talajra (összefoglalóan a célfelületre) optimális időpontban, a „szükséges és elégséges mennyiségben”, pontosan és megfelelően egyenletes eloszlásban történik. A felsorolt feltételeknek kell teljesülniük annak érdekében is, hogy a természeti és az ember által létrehozott környezetet a növényvédő szerek használatából eredően a lehető legkevesebb káros hatás érje (Székács, 1999; Kalmár et al., 2009).

Az elvárt eredmény elmaradásának lehetséges okaként a gazdálkodók és más növényvédelmi szakemberek gyakorta csupán az alkalmazott vegyszerek hatástalanságára gondolnak. Pedig - például permetezés esetében - kézenfekvő magyarázat az is, hogy a permetlevet nem sikerült megfelelően a célfelületre juttatni (Gulyás és Kovács, 2006). A permetezés hatásfoka a napjainkban alkalmazott eljárások során általában alacsony, mert a kijuttatott permetlé nagy része nem a célfelületre kerül, azaz nem hasznosul. Ez jelentősen rontja a kezelések hatékonyságát, és rendkívüli mértékben megnöveli a permetezés költségeit, hiszen a védekezéseket a nem kielégítő eredmény következtében gyakran meg kell ismételni, emellett a peszticidek ára is folyamatosan emelkedik (Dimitrievits et al., 2005). A gazdák sok esetben indokolatlanul nagy permetlé-felhasználással végzik el a szükséges beavatkozásokat, mégis nehezen biztosítható a kielégítő hatás. A hatékonysági problémák mellett fontos szempont, hogy a védendő felületeket elkerülő vegyszerek feleslegesen terhelik, veszélyeztetik, esetenként súlyosan károsítják, szennyezik a környezetet (Székács, 1999; Szoboszlay és Kriszt, 2010).

A permetezőgépek rendszere, kialakítása, továbbá a gépekre felszerelt műszaki megoldások (elsősorban a szórószerkezeteken rögzített szórófejek, fúvókák) jelentősen befolyásolják, hogy a kijuttatott permetlé milyen mértékben hasznosul, vagy megy veszendőbe. A hatékony permetezéshez tehát az alkalmazási célnak megfelelő gépek, műszaki megoldások használatára, vagyis szakszerű permetezéstechnikára van szükség (Cooke et al., 1990; Rietz et al., 1997; Wolters et al., 2008; Nuyttens et al., 2009; Pályi, 2010).

Az utóbbi években a permetezés műszaki technológiájával szemben támasztott követelmények világszerte szigorodtak. Egyre kifejezettebb és sürgetőbb ugyanis az a társadalmi és szakmai igény, hogy anyagtakarékosan (csökkentett vegyszer- és vízfelhasználással, vagyis mérsékelt permetlé-felhasználással), környezetkímélő módon legyenek elvégezhetőek a beavatkozások anélkül, hogy a permetezés munkaminősége, a kezelések hatékonysága romlana (Tuck et al., 1997; Balsari et al., 2007; Gulyás, 2009; Pályi, 2011). A kutatásfejlesztéssel foglalkozó szakemberek - felismerve a témakör aktualitását és fontosságát - a permetezőgépeket gyártó/fejlesztő vállalatokkal közösen nagy erőkkel törekszenek a támasztott igényeket kielégítő technológiák, gépek, műszaki megoldások kifejlesztésére és széles körben történő elterjesztésére. Ennek a K+F tevékenységnek az eredményeként számos olyan korszerű fúvóka és egyéb technikai megoldás vált hozzáférhetővé a kereskedelmi forgalomban, amelyek segítségével megvalósítható a hatékony, anyagtakarékos, környezetkímélő permetezés (Miller és Hadfield, 1989; Wicke et al., 1999; Hewitt, 2000; Lešnik et al., 2005; Nuyttens et al., 2007; Gulyás et al., 2012).

A témakör kiemelt jelentőségét bizonyítja, hogy az európai országokban a növényvédelmi gépek - különös tekintettel az új és a használatban lévő üzemi méretű permetezőgépekre - kivitelének és műszaki állapotának ellenőrzését EN és ISO szabványokban foglalt, alapvetően környezetvédelmi vonatkozású követelmények, vizsgálati módszerek alapján megalkotott jogszabályok szerint végzik. 1999-ben alapították meg az ENTAM elnevezésű nemzetközi szakmai szervezetet, amely számos európai ország mezőgazdasági gépek vizsgálatával, minősítésével foglalkozó intézményét tömöríti. A szervezet legfontosabb célja és törekvése, hogy a mezőgépeket az egyes tagállamokban az illetékes szakemberek ugyanazon európai és nemzetközi szabványok alapján, a bennük foglalt követelményeket egységesen értelmezve, azonos módszerekkel vizsgálják, minősítsék, ennek eredményeként a lefolytatott vizsgálatok eredményei kölcsönösen elismerhetőek legyenek (HTTP1). Az MGI már több mint egy évtizede az ENTAM teljes jogú tagja.

Az ENTAM szervezeti egységei közül a leghosszabb ideje, a leghatékonyabban a növényvédelmi gépek vizsgálatát végző műszaki-módszertani munkacsoport működik. Az MGI 2004 óta a Nemzeti Akkreditáló Testület által akkreditált vizsgálólaboratóriumot működtet annak érdekében, hogy a növényvédő gépekre vonatkozó vizsgálati eredményei nemzeti, illetve nemzetközi etalonokra visszavezethetőek, továbbá európa- és világszerte elismertek legyenek.

Németországban az illetékes Julius Kühn Institut a permetezőgépeket, a műszaki megoldásokat az elsodródást csökkentő képességük tekintetében szélcsatornában vagy szabadföldön lefolytatott elsodródás-vizsgálati eredmények alapján értékeli. Az eredményeket vagy az elsodródási határértékeket tartalmazó adatbázis vonatkozó elemeivel vagy a hagyományos referencia-permetezőgép elsodródás-vizsgálati eredményeivel hasonlítják össze és számszerűsítik a határértékhez, illetve a referenciagéphez viszonyított az elsodródás-csökkentő képességet (50, 75, 90 %). A gépeket, műszaki megoldásokat ez alapján kategorizálják, a besorolt tételekről pedig listát tesznek közzé (például az elsősorban szőlőültetvények védelmére használt alagút permetezőgépek elsodródás-csökkentő képességük alapján a 90 %-os, a többnyire szántóföldi permetezés során alkalmazott légbeszívásos réses fúvókák pedig - az üzemeltetési jellemzők függvényében - az 50, illetve a 75 %-os kategóriába kerültek besorolásra). Az illetékes növényvédelmi hatósággal történő egyeztetést követően kötelező jelleggel írják elő, hogy a környezetszennyezésre kifejezetten érzékeny területeken (pl.: élővizek, állattartó telepek, lakott területek, védendő természeti értékek, stb. közelében) - a kijuttatandó növényvédő szerek tulajdonságainak függvényében - milyen technikai megoldásokkal felszerelt permetezőgépeket szabad alkalmazni (HTTP2).

Az elmúlt évtizedben a növényvédelemről és a növényvédelmi tevékenységről szóló jogszabályok hatályba léptetésével az illetékes szervek hazánkban is fokozott hangsúlyt fektettek az új, valamint a használatban lévő növényvédő gépek minősítésére, ellenőrzésére.

Jelenleg az élelmiszerláncról és hatósági felügyeletéről szóló 2008. évi XLVI. törvény, valamint a törvény végrehajtását szabályozó, a növényvédelmi tevékenységről szóló 43/2010. (IV. 23.) FVM rendelet értelmében az 5 dm^3-nél nagyobb névleges térfogatú tartállyal felszerelt, új növényvédelmi gépeket kereskedelmi forgalomba történő hozatal előtt típusminősítési eljárás alá kell vetni. Az eljárásokat jogszabályi kijelölés alapján az MGI végzi elsősorban környezetvédelmi irányultságú követelményeket, vizsgálati módszereket tartalmazó, honosított európai és nemzetközi szabványok alapján készült követelmény- és feltételrendszer szerint. A minősíttetési kötelezettség a gépeket gyártó/forgalmazó vállalatokat terheli. A jogszabályok hatálya alá tartozó gépeket kizárólag az MGI által kiadott engedély birtokában lehet forgalmazni Magyarországon. A minősített típusok forgalomba hozatali engedélyének meglétét minden egyes értékesített gépen az MGI által kiadott matrica felragasztásával kell igazolni.

A géptulajdonosoknak fel kell készülniük arra, hogy az Európai Unió tagállamaiban hatályban lévő 2009/128/EK irányelv, továbbá a nemzeti jogszabályok értelmében rövidesen hazánkban is kötelező jelleggel bevezetésre kerül a használatban lévő permetező berendezések időszakos felülvizsgálati rendszere. Nemzetközi szakmai konferenciákon több alkalommal publikálták, hogy a felülvizsgálati rendszert számos európai országban hatékonyan működtetik (Wehmann, 2010; Wehmann, 2012).

Az üzemelő gépeket a gépek tulajdonosainak kell majd rendszeres időközönként felülvizsgáltatniuk az erre szakosodott, az MGI által kiadott tanúsítvánnyal rendelkező ellenőrző állomásokon. Amennyiben a gépek a felülvizsgálatok során kielégítik a követelményeket, működési engedélyt kapnak. Ennek hiányában a géppel növényvédelmi munkát végezni tilos.

A fentiek alapján kijelenthető, hogy a hatékony, anyagtakarékos, környezetkímélő permetezési eljárások, permetezőgépek, műszaki megoldások kutatása, fejlesztése, vizsgálata, mindezeknek a társadalom szereplőivel történő megismertetése, és széles körben való alkalmazása rendkívül aktuális és nagy jelentőségű feladat.

Kutatási tevékenységem hipotézisei a következők voltak:

- 1. sz. hipotézis: Az üzemi nyomás csökkentésének hatására a képzett cseppek mérete növekszik, és az alacsonyabb nyomás mellett keletkezett részecskék kisebb mennyiségben és kisebb távolságra sodródnak el.

- 2. sz. hipotézis: Az elsodródás ellen védő és a légbeszívásos rendszerű réses fúvókák nagyobb méretű cseppeket képeznek, mint a hagyományos réses fúvókák, és az általuk létrehozott részecskék kisebb mértékben sodródnak el.

- 3. sz. hipotézis: A műszaki szempontból jelentősen eltérő kialakítású légbeszívásos réses fúvókák között kimutatható különbség van a környezetvédelmi szempontból kiemelt fontosságú cseppképzési jellemzőik, valamint az általuk képzett részecskék elsodródásának mértéke tekintetében.

- 4. sz. hipotézis: A levegő-betáplálásos szórófejek használata során a képzett cseppek mérete a gyártó vállalat által közölt információval összhangban változtatható, ezáltal az elsodródott részecskék mennyisége, valamint az elsodródás távolsága csökkenthető.

Munkám célkitűzéseként a felsorolt hipotézisek vizsgálatát fogalmaztam meg.

Ennek megfelelően kutatási feladataimként lézeres részecske-analizátorral elvégzendő laboratóriumi cseppképzés- és szélcsatornában lefolytatandó elsodródás-vizsgálatok megvalósítását határoztam meg, amelyek eredményei és a levont következtetések alapján tisztázni kívántam, hogy:

- a szántóföldi permetezésre használt TeeJet gyártmányú TP11004VP hagyományos-, DG11004VS elsodródás ellen védő-, AIXR11004VP légbeszívásos megnövelt hatósugarú-, és AI11004VS légbeszívásos rendszerű réses fúvókák alkalmazása során az üzemi nyomás csökkentése következtében pontosan mennyivel nő a cseppméret, és milyen mértékben mérséklődik az elsodródott részecskék mennyisége és az elsodródás távolsága,

- a DG11004VS, az AIXR11004VP, valamint az AI11004VS fúvókák mekkora mértékben növelik a cseppméretet, és csökkentik az elsodródást a TP11004VP fúvókákhoz képest,

- a műszakilag jelentősen különböző AIXR11004VP és AI11004VS légbeszívásos réses fúvókák között van-e szignifikáns differencia a lehetséges környezeti hatások vonatkozásában fokozott jelentőségű cseppképzési jellemzőik értékében, továbbá a képzett cseppek elsodródásának mértékében,

- a John Deere gyártmányú permetezőgépeken alkalmazott TwinFluid 042/TK-SS10 típusú levegő-betáplálásos szórófej üzemeltetése keretében a gyári beállítások közötti váltások hatására minden esetben bekövetkezik-e szignifikáns mértékű változás a cseppméretben, és ezzel párhuzamosan a keletkezett részecskék elsodródásának mértéke és távolsága csökkenthető-e.

Kutatásaim célja volt továbbá, hogy vizsgálati eredményeim és következtetéseim tükrében megállapítsam, hogy a megismert és feldolgozott hazai és nemzetközi szakirodalmi forrásokban fellelt, valamint a gyártó vállalatok által közölt információ alátámasztható-e. Emellett gyakorlati szakemberek számára is hasznos szakmai javaslatok megfogalmazását is célul tűztem ki.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1 A növényvédelmi eljárások csoportosítása, rövid jellemzése

Szakirodalmi források (Balázs és Dimitrievits, 1979; Csizmazia, 2006; Dimitrievits és Gulyás, 2011) szerint a növényvédelmi módszereket az alábbiak szerint lehet csoportosítani és röviden jellemezni.

A vegyszeres eljárások a kártevőket, a kórokozókat és a gyomnövényeket kémiai hatással pusztítják el. Ezek a módszerek hatékonyak, területteljesítményük magas, a rendelkezésre álló számos műszaki megoldás következtében sokoldalúan használhatóak, ezért annak ellenére is szélesebb körben terjedtek el, mint a vegyszermentes eljárások, hogy alkalmazásuk veszélyezteti, esetenként szennyezi, károsítja a környezetet. A vegyszeres növényvédelmi technológiák csoportján belül szórástechnikai eljárások (ködképzés, porlasztás/permetezés, porozás és granulátumszórás) és egyéb módszerek (csávázás, kenés, gázosítás és talajinjektálás, stb.) különböztethetőek meg.

A vegyszermentes eljárások esetében a védőhatás többnyire mechanikai (talajművelés, metszés, burkolás, takarás, stb.), illetve egyéb fizikai (termikus- és elektromos gyomirtás, gőzölés, fagyvédelem, jégkár elleni védekezés, stb.) evidenciákon alapszik.

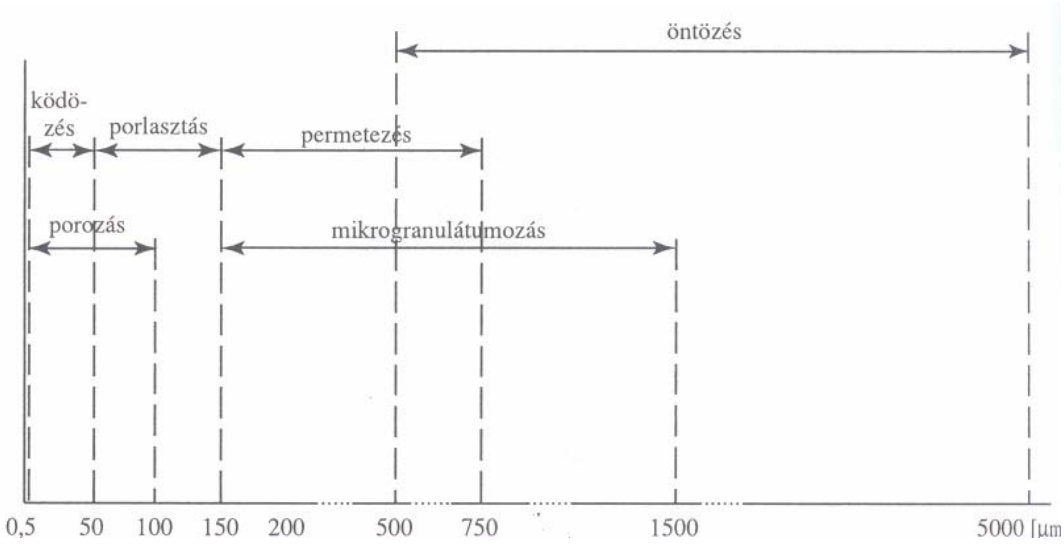
2.2 A szórástechnikai eljárások fontosabb jellemzői

A szórástechnikai eljárások elsődleges célja a hatóanyag célfelületen történő egyenletes elosztása a lehető legkisebb környezetterhelés mellett. Az eljárások alapvetően a kijuttatott részecskék mérete, valamint a kiszórt anyag mennyisége és fizikai állapota (folyadékok, amelyek többnyire oldatok, emulziók vagy szuszpenziók; porok; granulátumok) alapján különböztethetőek meg (László, 1993; Biber et al., 2002; Dimitrievits és Kovács, 2010).

László (1997), Csizmazia (2006), valamint Dimitrievits és Kovács (2010) is ismertették azt a szakmai összefüggést, hogy minél kisebb méretű részecskékkel végzik a kezeléseket, annál kevesebb anyag szükséges egységnyi méretű felület befedéséhez. Vagyis a kijuttatott részecskék méretének csökkentésével növelni lehet a konstans anyagmennyiséggel megvédhető felület nagyságát. Amennyiben folyadékok porlasztásakor (finom cseppekre történő bontásakor) azt feltételezzük, hogy a kijuttatandó folyadéktömeg gömb alakú, amelyből egyenletes átmérőjű, gömb formájú cseppek jönnek létre, akkor a két gömb térfogatának aránya adja meg a cseppméret és a folyadékmennyiség összefüggését. Tehát amilyen arányban csökken a cseppátmérő, olyan arányban csökken az adott méretű felület bevonásához szükséges folyadékmennyiség, illetve ugyanolyan arányban növekszik az egységnyi mennyiségű folyadéktömegből keletkező cseppek összes felülete, vagyis a lefedhető terület nagysága.

László (2003), illetve Dimitrievits és Kovács (2010) közleményeikben arra hívták fel a figyelmet, hogy a fenti összefüggés tükrében a lehető legkisebb méretű részecskéket kellene létrehozni, mert ezáltal csökkenthető a felhasznált anyag mennyisége (a hatóanyag és a hígító anyag mennyisége együttesen), javítható a munkaminőség, azaz növelhető a hatékonyság, ezzel párhuzamosan csökkenthető a környezetterhelés. A cseppeket azonban el is kell juttatni a célfelületre, emellett biztosítani kell a lerakódásukat is. Az apró részecskék esetében ez komoly problémát okoz, mert a kis méretű cseppek mozgási energiája alacsony, hosszú ideig lebegnek a levegőben, gyorsan elpárolognak, valamint szél, illetve termik (hőmérsékleti különbség hatására, kürtő alakban felfelé irányuló légáramlás) hatására könnyen - akár jelentős távolságra is – elsodródnak, és nehezen tapadnak meg a célfelületen, tehát ebből a szempontból a nagyobb méretű részecskék képzése lenne előnyös.

A fentebb hivatkozott szerzők szerint azonos és kizárólag kívánt méretű részecskék képzése a gyakorlatban sosem biztosítható, a kijuttatott részecskék mérete mind folyadékok, mind szilárd anyagok kiszórásakor viszonylag széles tartományban oszlik meg (1. sz. ábra). Az ábrán látható, hogy permetezés mint a leggyakrabban alkalmazott szórástechnikai eljárás során a képzett cseppek átmérője többnyire a 150-750 µm mérettartományba esik.



1. sz. ábra:

Részecskék jellemző mérettartománya eljárások szerinti csoportosításban

(Forrás: Balázs et al., 1984)

A szórástechnikai módszerek a létrehozott részecskék nagysága mellett az egységnyi területre kijuttatott anyagmennyiség függvényében is elkülöníthetőek egymástól. Az általánosan elfogadott csoportosítás az 1. sz. táblázatban látható.

1. sz. táblázat: Szórástechnikai eljárások csoportosítása a felhasznált anyagmennyiség alapján (Forrás: Balázs et al., 1984)

<0,5 dm^3/ha	UULV (ultra-ultra-low-volume): rendkívül kis anyagmennyiséggel végzett eljárás
0,5-5,0 dm^3/ha	ULV (ultra-low-volume): igen kis anyagmennyiséggel végzett eljárás
5,0-50 dm^3/ha	LV (low-volume): kis anyagmennyiséggel végzett eljárás
50-150 dm^3/ha	MV (medium-volume): közepes anyagmennyiséggel végzett eljárás
150-500 dm^3/ha	HV (high-volume): nagy anyagmennyiséggel végzett eljárás
500-2000 dm^3/ha	UHV (ultra-high-volume): igen nagy anyagmennyiséggel végzett eljárás
>2000 dm^3/ha	UUHV (ultra-ultra-high-volume): rendkívül nagy anyagmennyiséggel végzett eljárás

Balázs et al. (1984) publikálták, hogy a permetezés folyadékok cseppekre bontva történő egyenletes kijuttatására alkalmas eljárás, amelyet általában 100-1500 dm^3/ha felhasznált anyagmennyiséggel (fajlagos anyagfelhasználással vagy fajlagos szórásmennyiséggel) végeznek, tehát a permetezés a közepes, a nagy, illetve az igen nagy anyagmennyiséggel végzett eljárások (MV, HV és UHV) kategóriájába sorolható. A fenti szerzők közölték, hogy a fajlagos szórásmennyiség és a részecskeméret között szoros összefüggés van. Az UULV vagy az ULV kategóriába tartozó eljárások nagy méretű cseppekkel történő permetezéssel nem valósíthatóak meg, mert a növényeken vagy a talajon nem biztosítható az elégséges mértékű fedettség.

A szórástechnikai eljárások fontos jellemzője az is, hogy milyen módon biztosítják a cseppekre (szemcsékre) bontott anyag egyenletes elosztását és a növényzetbe való behatolását (penetráció). A permetezés vonatkozásában a számos, különböző kialakítású szórószerkezet segítségével végzett kezelések két fő csoportba sorolhatók (Balázs és Dimitrievits, 1979).

Síkpermetezésnek nevezik azt az eljárást, amely során közel síkban elhelyezkedő célfelületre juttatják ki a növényvédő szert (pl.: a permetlé talajra történő kiszórása gyomirtásnál). Habár a célfelület soha sem geometriai értelemben vett sík - hiszen sem a talajfelszín, sem a talajt borító növényzet nem vízszintes - a szórószerkezetek kialakítása és a szórás irányának meghatározása szempontjából ezek az eltérések elhanyagolhatók. Általában szántóföldön alkalmazzák ezt az eljárást, amely teljes felületen vagy sávosan végezhető (Balázs et al., 1984).

Térpermetezés esetében térben tagolt, kisebb-nagyobb mértékben egymást takaró célfelületeket vonnak be peszticiddel (pl.: szőlő vagy gyümölcsfák permetezése). Ez többnyire ültetvények védelmére használt eljárás, amely során kifejlett növényállományt kezelnek, jellegzetes feladat a megfelelő penetráció biztosítása, ami a szükséges mértékű, egyenletes fedettség kialakulásának alapvető feltétele (Dimitrievits és Kovács, 2010).

2.3 A permetezés műszaki technológiája

Turba (1976) közétette - közleményét később más szerzők (László, 1997; Csizmazia, 2006) is megerősítették -, hogy a permetezőgépek, illetve a gépekre szerelt szórófejek rendszere, cseppképzési módja szerint hidraulikus, pneumatikus (légporlasztás), mechanikus és egyéb fizikai elv alapján megvalósuló (pl.: elektrosztatikus, ultrahangos), valamint kombinált cseppképzésű permetezési eljárásokat alkalmaznak a gyakorlatban.

Láng (2000) és más szerzők (Dimitrievits et al., 2007; Bablena és Gulyás, 2010) szerint is a legpontosabb adagolási lehetőséget, a legjobb munkaminőséget, a legegyenletesebb szórást, a legegyszerűbb kezelhetőséget, ezáltal a legkedvezőbb hatékonyságot és a legkisebb környezeti kockázatot a hidraulikus permetezés (a permetlé cseppekre bontása folyadéknyomás hatására történik) biztosítja, ezért ez az eljárás terjedt el a legszélesebb körben.

A hidraulikus permetezési eljárások során alkalmazott üzemi nyomás értéke általában 1-30 bar között változik, a folyadéknyomás nagysága szerint az eljárásokat három csoportba lehet sorolni (Balázs és Dimitrievits, 1979; Dimitrievits és Kovács, 2010):

- alacsony nyomású permetezés: 1-5 bar,
- közepes nyomású permetezés: 5-15 bar,
- magas nyomású permetezés: 15-30 bar.

A szántóföldi permetezés többnyire az alacsony, illetve a közepes nyomással végzett kezelések közé sorolható be. A hidraulikus cseppképzésű permetezőgépeken az üzemi nyomás többnyire széles tartományban beállítható, ezzel változtatható a szórófejek, fúvókák által képzett cseppek mérete, valamint a kiszórt anyagmennyiség.

A nyomás, illetve az abból származó kinetikai energia szolgáltatja a permetlé cseppekre bontásához, továbbá a cseppek célfelületre juttatásához szükséges mozgási energiát. A részecskék mozgási energiája az üzemi nyomás mellett méretüktől (tömegüktől) és sebességüktől is függ (László, 2003).

2.3.1 A permetezés minőségét meghatározó fontosabb tényezők

Szakirodalmi források (Rietz et al., 1997; László, 2003; Csizmazia, 2006; Nuyttens et al., 2009; Pályi, 2010) alapján a hidraulikus permetezés munkaminőségét alapvetően a szórófejek, illetve a fúvókák kialakítása, működési jellemzői; a szórószerkezetek kivitele; a beállítási-üzemeltetési, technológiai paraméterek; a kiszórt folyadék fizikai jellemzői (pl.: viszkozitás, sűrűség, hőmérséklet); valamint a levegő mint környezeti közeg jellemzői (pl.: hőmérséklet, relatív páratartalom, légmozgások) határozzák meg.

2.3.1.1 A szórófejek, fúvókák működési jellemzői

A szórófejek működési jellemzői László (1997), Dimitrievits és Kovács (2010), valamint Dimitrievits és Gulyás (2011) által publikáltak alapján a következők szerint foglalhatóak össze.

a) A szórófejek folyadékfogyasztása (szórásteljesítménye): jele: q; mértékegysége: dm^3/min. Ideális folyadékáramlást feltételezve a szórófejek elméleti folyadékfogyasztása a Bernoulli-törvény alapján az alábbi összefüggés segítségével határozható meg:

$$q_{elm} = A_0 \sqrt{\frac{2p}{\rho}},$$

ahol:

q_{elm} az elméleti folyadékfogyasztás [dm^3/min],

A_0 a fúvóka kilépőnyílásának keresztmetszete [mm^2],

p a folyadék nyomása [bar],

ρ a folyadék sűrűsége [kg/dm^3].

A permetlevek sűrűsége a hivatkozott szerzők szerint elhanyagolással 1 kg/dm^3-nek tekinthető. Ennek ismeretében a képletből adódik, hogy a szórófejek elméleti szórásteljesítménye alapvetően a fúvóka méretétől és az üzemi nyomástól függ. Adott keresztmetszetű fúvókák esetében tehát az elméleti folyadékfogyasztást a folyadéknyomás értéke határozza meg, vagyis az egyenletes permetlémennyiség kijuttatásának feltétele az üzemi nyomás állandó értéken tartása.

b) Az ürítési tényező: jele: μ, mértékegysége: nincs.

Az ürítési tényező a tényleges (mért érték) és az elméleti (számított érték) folyadékfogyasztás hányadosaként adható meg:

$$\mu = \frac{q}{q_{elm}},$$

ahol:

μ az ürítési tényező,

q a tényleges folyadékfogyasztás [dm^3/min],

q_{elm} az elméleti folyadékfogyasztás [dm^3/min].

c) A szórási szög (szórási kúpszög): jele: α; mértékegysége: º.

Szántóföldi síkpermetezésnél az állandó szórási szög (általában kb. 110º) a kielégítő munkaminőség kiemelt fontosságú feltétele. A szórási kúpszög - a fúvóka kialakításának függvényében - bizonyos határig növelhető az üzemi nyomás növelésével, a határ túllépését követően azonban a szög már nem változik, csak a képzett cseppek mérete csökken, a nyomás további növelése hatására pedig az irányított permetezés helyett a permetcseppek gomolygása következik be.

d) A permetsugár tömegeloszlása (szóráskép).

A szóráskép alakját alapvetően a szórófejek kialakítása határozza meg, ideális esetben háromszög vagy trapéz formájú eloszlás keletkezik. Az üzemeltetési jellemzők (pl.: üzemi nyomás, permetezési magasság) módosíthatják a szóráskép egyéb jellemzőit (terítési szélesség, mélység, aszimmetria).

e) A hatótávolság (penetráció): jele: l; mértékegysége: m.

A hatótávolság fogalmának helyes értelmezése műveletspecifikus. Fogalma alatt a szántóföldi hidraulikus permetezés esetében adott magasságban és - általában vízszintes - irányban elhelyezett szórófejjel végzett szórás során elérhető távolságot lehet érteni. Szőlő-, és gyümölcsültetvények állománykezelése esetében a penetráció megfogalmazás használatos. Az üzemi nyomás növelésével - a szórási szöghöz hasonlóan - csak bizonyos határig növekszik az a távolság, ameddig a cseppek eljutnak, a határ átlépését követően viszont már csökken. Ennek az oka az, hogy a nyomás növelésével egyre kisebb cseppek képződnek, amelyek mozgási energiája rohamosan csökken, a levegőben könnyebben lefékeződnek. Sebességük annyira lecsökkenhet, hogy közel egy helyben lebeghetnek, ezáltal gyorsan elpárologhatnak, illetve kisebb légáramlatok is elsodorhatják őket, növelve a környezet károsításának kockázatát.

f) A közepes cseppátmérők (számított, helyzeti): jele: d/D; mértékegysége: µm.

Permetezés során különböző méretű permetcseppek halmaza keletkezik, a kijuttatott részecskék mérete aránylag széles tartományban oszlik meg. A cseppméret, illetve a cseppek méret szerinti eloszlása rendkívül fontos paraméter a munkaminőség, a kijuttatott permetlé hasznosulása, ebből kifolyólag a környezetre gyakorolt hatások szempontjából.

A fúvókák által képzett cseppek méretének vonatkozásában számított és helyzeti középértékek adhatóak meg. Számított középértékként a felsorolt számtani átlagok alkalmazása terjedt el leginkább:

- $\bar{d}$ [µm],
- $\bar{d}_s$ [µm],
- $\bar{d}_v$ [µm],
- $\bar{d}_{vs} = \frac{\bar{d}_v^3}{\bar{d}_s^2}$ [µm].

Helyzeti középértékként a medián a leggyakrabban használt jellemző az alábbiak szerint:

- NMD [µm],
- SMD [µm],
- VMD [µm].

A különböző módon meghatározott középértékek a következő relációban állnak egymással:

$$\bar{d} < \bar{d}_s < \bar{d}_v < \bar{d}_{vs},$$

$$NMD < SMD < VMD,$$

$$VMD > \bar{d}_v .$$

A cseppméret jellemzésére leggyakrabban a térfogat szerinti közepes cseppátmérőt (nevezik térfogat szerinti 50 %-os vagy egyszerűen közepes cseppátmérőnek is, jelölése: d_{v50}, ill. VMD) használják, amely annak a cseppnek az átmérőjét (µm) jelenti, amelynek térfogatánál (ebből kifolyólag megközelítőleg tömegénél is) kisebb, illetve nagyobb cseppek előfordulási gyakorisága azonos (Nuyttens et al., 2010). A definíció leegyszerűsítve azt jelenti, hogy amennyiben 100 dm^3 permetlé kerül kijuttatásra, akkor 50 dm^3 folyadékból a térfogat szerinti közepes cseppátmérővel jellemzett cseppnél kisebb, 50 dm^3 permetléből pedig nagyobb részecskék keletkeznek.

g) A cseppek méret szerinti eloszlásának jellemzői.

A kapott eredményeket grafikus ábrázolással, empirikus sűrűség-, illetve eloszlásgörbék szemléltetik, amelyekről - egyéb cseppképzési jellemzők mellett - leolvashatóak az NMD-, SMD-, VMD-értékek, valamint a térfogat szerinti 10 %-os és 90 %-os cseppátmérő értéke (jelölésük: d_{v10}, ill. d_{v90}, definíciójuk a térfogat szerinti 50 %-os cseppátmérő fogalmából logikusan származtatható), továbbá a 100 µm-nél kisebb méretű cseppek összes cseppszámhoz viszonyított százalékos aránya (a teljes cseppspektrumot reprezentáló eloszlásgörbékről, illetve táblázatokból le-, ill. kiolvasható érték százalékban kifejezve).

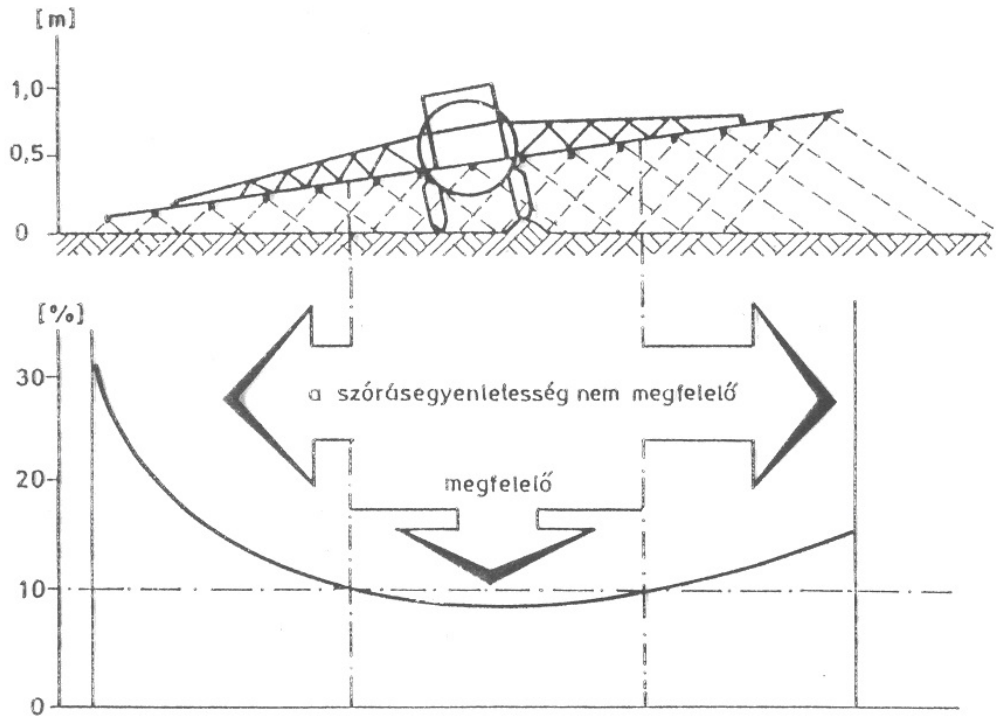
A megfelelő munkaminőségű, hatékony, ugyanakkor anyagtakarékos és környezetkímélő permetezési műszaki technológiákkal szemben támasztott igények folyamatos erősödése, továbbá a környezetvédelmi követelmények időről időre történő szigorodása következtében a szakirodalom (Ganzelmeier és Rautmann, 2000; Murphy et al., 2000; Jensen et al., 2001; Nuyttens et al., 2007; Nuyttens et al., 2009; Gulyás et al., 2012) újabban - a d_{v50} és a VMD mellett - a d_{v10}-et, valamint a 100 µm-nél kisebb méretű cseppek arányát tekinti a permetezés meghatározó paramétereinek. A környezeti elemek szempontjából ugyanis ezeknek a jellemzőknek van kiemelt szerepük, hiszen a keletkezett kis méretű cseppekre, vagyis összességében véve a képzett részecskék elsodródási hajlamára vonatkoznak.

2.3.1.2 A permet elosztása a célfelületen, a szórószerkezetek kivitele

Szakmai referenciák (Balázs és Dimitrievits, 1979; László, 1993; Csizmazia, 2006) szerint a szórófejek, fúvókák kialakítása és ismertetett működési jellemzőik mellett a permetezés minőségét az is jelentős mértékben befolyásolja, hogy a permetcseppeket hogyan sikerült elosztani a célfelületen. A fenti szerzők közleményeivel összhangban Kalmár et al. (2009) és Pályi (2010) is publikálta, hogy a kívánt eloszlás elérésének feltétele, hogy a permetezés térben és időben egyaránt egyenletes legyen. Ehhez - a szakszerűen megválasztott és állandó értéken tartott üzemi nyomás és haladási sebesség mellett - az alkalmazási célnak megfelelő kivitelű szórószerkezetre van szükség.

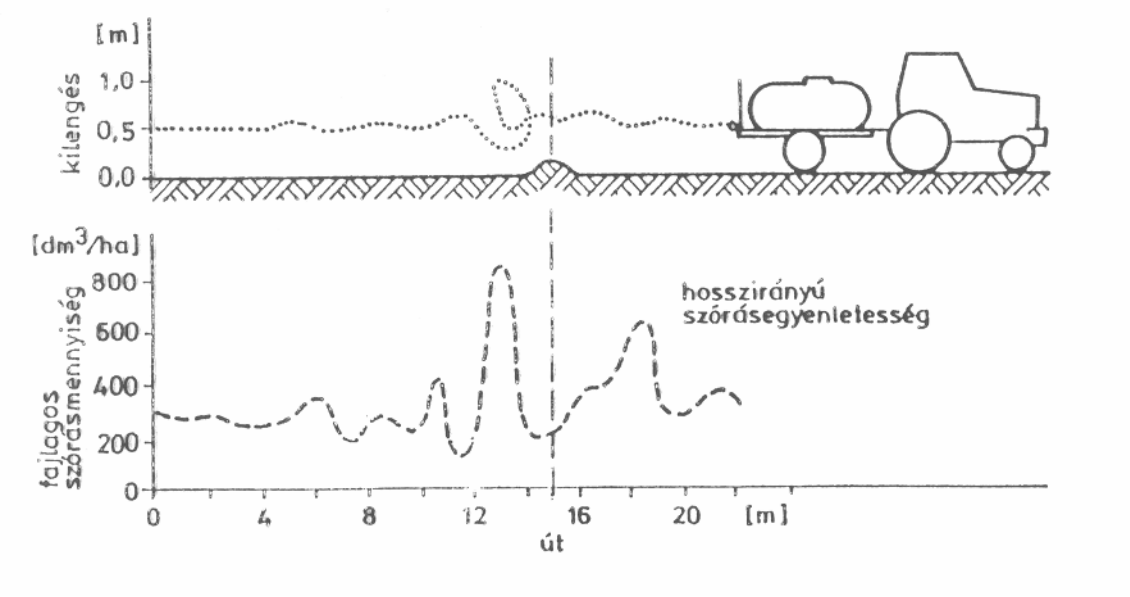
Más szerzőhöz (László, 2003) hasonlóan Pályi (2010) azt is közzétette, hogy üzemi méretű szántóföldi permetezőgépek esetében az elvárt munkaminőség biztosítása érdekében a szórófejeket a szórókeret teljes szélességében egymástól azonos távolságra (a szórófejek osztástávolsága 110-120º szórási szögű fúvókák esetében általában 50 cm) rögzítik azzal a céllal, hogy a fúvókák szórásképeinek összeillesztésével (szükséges átfedés) egyenletes elméleti eloszlás alakuljon ki.

A hivatkozott szerzők publikálták, hogy a gyakorlati eloszlás, amely sohasem teljes mértékben egyenletes, a szántóföldi permetezés legfontosabb minőségi paraméterével, a keresztirányú szórásegyenletességgel jellemezhető. Ezekkel a forrásokkal összhangban Dimitrievits (2007a), továbbá Dimitrievits és Kovács (2010) szerint szántóföldi permetezés során kielégítő keresztirányú szórásegyenletesség kizárólag abban az esetben érhető el, ha a beállított munkamagasság állandó, és megfelel az alkalmazott fúvókák szórási szögének. A 2. sz. ábra szemlélteti, hogy abban az esetben, amikor az üzemelő szórófejek túlságosan messzire kerülnek a kezelendő célfelülettől, kisebb mértékben romlik a munkaminőség, mint akkor, amikor túlzottan megközelítik a védendő növényzetet vagy a talajt. Ez utóbbi esetben ráadásul az egyes fúvókák szórásképének nem megfelelő átfedése miatt kezeletlen vagy túlkezelt sávok is előfordulnak. Ilyenkor a hatékonyság jelentősen csökken, illetve a „szükséges és elégséges”-nél nagyobb mennyiségben lerakódott permetlé károsíthatja a lepermetezett növényállományt (perzselés) és fokozottan terheli a környezetet.



2. sz. ábra:
A keresztirányú szórásegyenletesség alakulása
a függőleges irányú szórókeret-lengések hatására
(Forrás: Balázs et al., 1984)

A szántóföldi permetezés munkaminőségét, hatékonyságát és környezetre gyakorolt hatásait Balázs et al. (1984), Csizmazia (2006), Dimitrievits (2006), valamint Dimitrievits és Gulyás (2012b) állásfoglalása alapján a vertikális irányú keretlengéseken kívül a szórókeret vízszintes irányú mozgásai is negatívan befolyásolják, mert a horizontális elmozdulások következtében bizonyos felületekre több, illetve kevesebb permetlé kerül, tehát romlik a kezelések hosszirányú szórásegyenletessége (3. sz. ábra).



3. sz. ábra:
A hosszirányú szórásegyenletesség változása
a szórókeret vízszintes irányú mozgásai következtében
(Forrás: Balázs et al., 1984)

A szántóföldi permetezőgépekkel végzett növényvédelmi tevékenység jellemzőit tehát nagymértékben determinálja a szórókeretek felfüggesztési módja, valamint a keretek lengéscsillapításának hatékonysága (Balázs és Dimitrievits, 1979; Láng, 2000; László, 2003; Csizmazia, 2006; Dimitrievits és Gulyás, 2011; Sándor, 2012). A hivatkozott szerzők szerint általában a számos változatban ismert lengőkereteket (pl.: trapéz-, inga-, illetve a paralelogramma felfüggesztésű keretek) alkalmazzák a gyakorlatban, amelyekre jellemző, hogy a szórókeret és a gép mozgásai egymástól függetlenek. Kisebb munkaszélességű kereteknél a szakszerűen megválasztott felfüggesztés önmagában is képes lehet a kellő mértékben mérsékelni a lengéseket, nagyobb kereteknél azonban különböző lengéscsillapító műszaki megoldásokat (pl.: hidraulikus csillapítás, torziós tengely) kell alkalmazni.

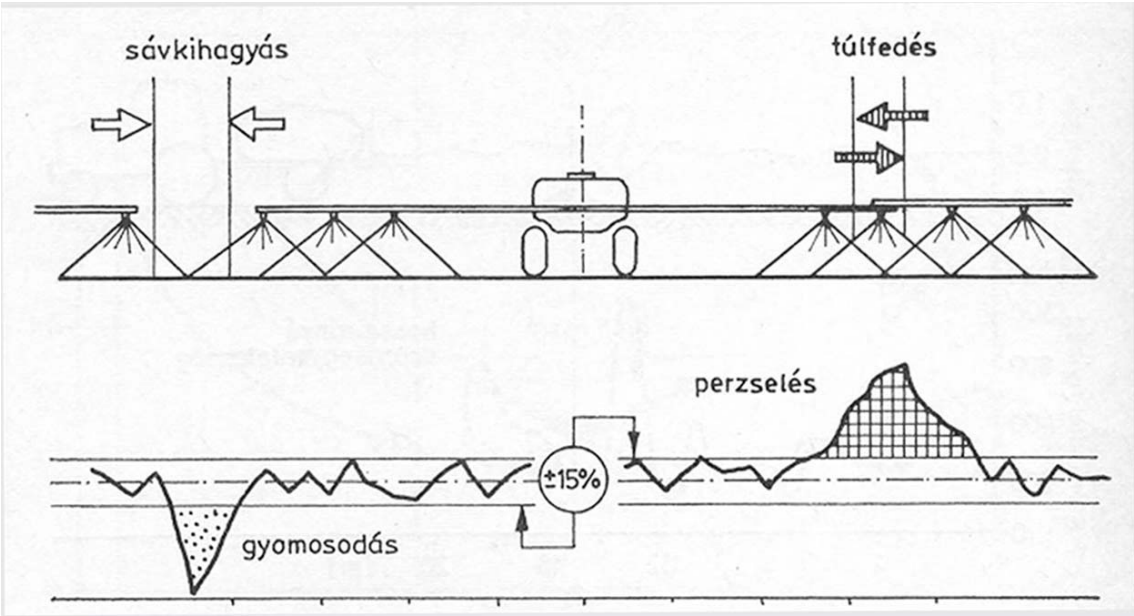
László (2003), valamint Dimitrievits (2005) és hozzájuk hasonlóan Csizmazia (2006) is említette közleményében, hogy a korszerű gépek esetében a szórókeret lengéseit nem csak csillapítják, hanem mozgásait szabályozzák is. Rendszerint ultrahangos érzékelőket szerelnek fel a szélső kerettagokra (4. sz. ábra), amelyek érzékelik a keretszárnyak és a célfelület közötti távolságot. Amennyiben a munkamagasság bármelyik oldalon eltér a beállítottól, az érintett kerettag automatikusan visszaáll eredeti helyzetébe.

4. sz. ábra:
Szántóföldi szórókereten elhelyezett ultrahangos érzékelő
(Forrás: Dimitrievits és Gulyás, 2011)

Dimitrievits és Gulyás (2011) közzétette, hogy a talajkövető vagy talajkopírozó szórókeretek lejtős területeken is lehetővé teszik a talajjal párhuzamos helyzetben történő permetezést. Ezt demonstrálja az 5. sz. ábra.

5. sz. ábra:
Talajjal párhuzamos szórókeret lejtős területen
(Forrás: Dimitrievits és Gulyás, 2011)

Láng (2000), Csizmazia (2006), illetve Dimitrievits (2007d) és Sándor (2012) szerint a kezelt területek pontos csatlakoztatásának (sáv- vagy fogáscsatlakoztatás) hiánya miatt keletkező kezeletlen sávok, illetve kétszer lepermetezett felületek - a keret lengéseihez, mozgásaihoz hasonlóan - minőségi, hatékonysági és környezeti problémákat (pl.: sávkihagyás miatt fellépő gyomosodás, ill. túlfedés hatására bekövetkező perzselés) okoznak (6. sz. ábra). A fenti szerzők publikálták, hogy a pontos fogáscsatlakoztatás megvalósítására számos megoldás (pl.: habjelző berendezés, művelőnyomos technológia, párhuzamosan vezető rendszer, automatikus kormányzás) kínálkozik.



6. sz. ábra:
A hibás sávcsatlakoztatás következményei
(Forrás: Balázs et al., 1984)

Teljes felület egyenletes kezelését biztosítja a permetlé-keringetés módszere (Demes, 2007; Sándor, 2012). Dimitrievits (2007a) az alábbiak szerint ismertette a cirkulációs permetlérendszerű gépek működési elvét és előnyeit. A szerző közleményében foglaltakat az MGI munkatársai által elvégzett MEZŐGÉPTESZTEK-ben közzétett műszaki információ is megerősítette (MEZŐGÉPTESZT, 2011a; MEZGÉPTESZT, 2011b). Az ilyen permetezőgépek szórószerkezetén két vezetékrendszert építenek ki, amelyekben a permetlé folyamatosan kering. Ezáltal a szórófejek működtetéséhez folyamatosan a kívánt értékű üzemi nyomás áll rendelkezésre, tehát a permetezés indításakor azonnal a beállított mennyiségű permetlé kerül kiszórásra. Ezzel szemben a hagyományos szórószerkezetek esetében a permetezés elindításakor a nyomás a szórófejeknél még túlságosan alacsony, a beállított érték csak fokozatosan, munkavégzés közben alakul ki.

Vegyszeres gyomirtásnál különösen jól megfigyelhető, gyakori hiba, hogy az összességében megfelelően kezelt táblák szélein, ahol a gép az indulást, illetve a fordulókat követően megkezdte a permetezést, a gyomok nem pusztultak el. Az ilyen gyomos sávok ráadásul újabb fertőzések kiindulópontjai lehetnek. A védekezések minősége és eredményessége szempontjából tehát a cirkulációs permetlérendszer alkalmazása jelentős előnyökkel jár (Dimitrievits, 2007a).

2.3.2 A permetezés veszteségeit meghatározó tényezők

A permetezés során veszteségnek a kijuttatott permetlé azon része minősül, amely nem a célfelületre kerül, azaz nem tud hasznosulni (László et al., 2004; Dimitrievits et al., 2005). A veszteségek minden esetben csökkentik a hatékonyságot, veszélyeztetik, illetve szennyezik a környezetet (Kalmár et al., 2009).

Számos szerző (pl: László et al., 2004; Gulyás és Kovács, 2006; Dimitrievits, 2007c; Kalmár et al., 2009) publikálta, hogy a megfelelő védőhatás biztosításához a szakszerűen megválasztott hatóanyagot a „szükséges és elégséges mennyiségben" kell a célfelületre juttatni. Ugyanis ha ennél több hatóanyagot, ezáltal nagyobb mennyiségű permetlevet szórnak a kezelendő növényzetre, illetve a talajra, akkor túlpermeteznek. A túlpermetezés csökkenő hatékonyságot, fokozott környezetterhelést eredményez, egyes esetekben perzselést okoz, vagyis magukat a védendő növényeket is károsítja. A hivatkozott közlemények alapján szántóföldi kezelések esetében az ebből adódó veszteségek aránya akár a kijuttatott anyagmennyiség 20 %-át is elérheti. Az alkalmazási célnak megfelelő permetezőgépek, műszaki megoldások kiválasztásával, a gépek helyes beállításával és szakszerű üzemeltetésével a túlpermetezésből fakadó veszteségek gyakorlatilag kiküszöbölhetőek (Rietz et al., 1997; Wolters et al., 2008; Pályi, 2011).

Szakirodalmi források (László, 1997; Csizmazia, 2006) szerint mennyiségüket tekintve a legjelentősebb veszteségek abból erednek, hogy a permetlevet technikailag nem képesek a célfelületre eljuttatni, illetve abból, hogy a permetcseppek nem tudnak megtapadni a megvédendő növényzeten, hanem a talajra hullanak. A célfelületet elkerülő permetlé egyrészt rontja a permetezés hatékonyságát, másrészt - Szoboszlay és Kriszt (2010) publikációja alapján - szennyezi a földtani közeget, illetve a felszín alatti- és felszíni vizeket. Azoknál a szántóföldi permetezési eljárásoknál, amelyeknél a célfelület maga a talaj (pl.: a kultúrnövények kelését megelőzően végzett - preemergens - gyomirtás esetében) a talajra hulló permet mint veszteségforrás magától értetődően nem létezik. Posztemergens gyomirtás vagy szántóföldi állománykezelés során azonban a talajon kimutatható veszteség a kiszórt anyagmennyiség 10-20 %-a. Az ismertetett veszteségforrás nagysága elsősorban szintén az alkalmazott gépek, technikai megoldások kivitelétől, a beállítási- és üzemeltetési paraméterektől, valamint a kezelendő növények jellemzőitől függ.

Külföldi (Ganzelmeier és Rautmann, 2000; Jensen et al., 2001; Matthews, 2004; Nuyttens et al., 2009) és hazai (László et al., 2004; Csizmazia, 2006; Pályi, 2010; Gulyás et al., 2012) szerzők egymással teljes összhangban publikálták, hogy a veszteségek másik, szintén kiemelt jelentőségű forrása az elsodródás, amelynek két formája különíthető el.

A fúvókák által képzett permetcseppek a szél hatására vízszintes irányban sodródnak el. Amennyiben a keletkezett, különböző nagyságú részecskékből álló halmazban nagy gyakorisággal fordulnak elő az apró (100 µm-nél kisebb méretű) cseppek, már igen gyenge szél (szélsebesség < 2 m/s) esetén is lehet elsodródásra számítani, ráadásul ezek a cseppek akár nagyobb távolságra is eljuthatnak (Nordbo et al., 1995; Combellack et al., 1996; Bayat és Bozdogan, 2005; Csizmazia, 2006; Sztachó-Pekáry, 2010; Pályi, 2011).

Az elsodródás másik formája a termik következtében fellépő, függőleges irányú elsodródás.

Az elsodródásnak összességében tulajdonítható veszteség a kipermetezett anyagmennyiség kb. 5-10 %-át teszi ki. A feldolgozott szakirodalmi források értelmében az elsodródás mint veszteségforrás tehát azért bír fokozott jelentőséggel, mert leginkább a legkisebb méretű cseppeket veszélyezteti. Az apró részecskéknek köszönhetően ugyanis egyrészt javítható a munkaminőség, csökkenthető a fajlagos anyagfelhasználás, vagyis növelhető a kezelések hatékonysága, másrészt a permetezés lehetséges környezeti hatásai szempontjából is kulcsfontosságúak.

Veszteségként jelentkezik az is, ha a részecskék azért nem érik el a célfelületet, mert előbb elpárolognak. Bár az elpárolgásból fakadó veszteségek mennyiségi szempontból kevésbé jelentősek (< 1 %), ebben a tekintetben is az elsodródásra is kiváltképp hajlamos apró cseppek a veszélyeztetettek.

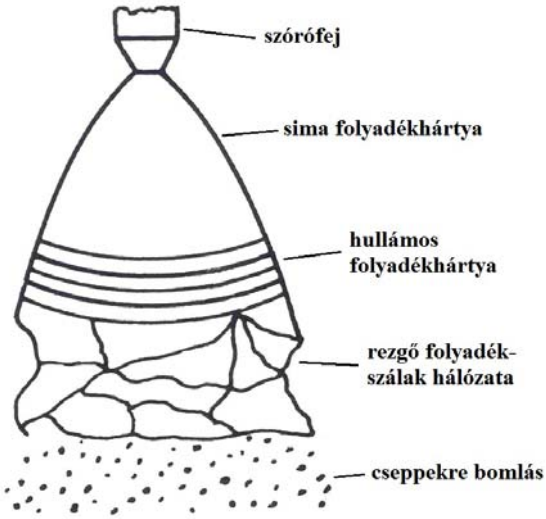
2.3.3 Hidraulikus cseppképzés, szántóföldi permetezés során alkalmazott szórófejek, fúvókák

A feldolgozott szakirodalom tükrében fontos ismét hangsúlyozni, hogy szántóföldi permetezésnél a folyadékot a szükséges és elégséges mennyiségben, nagy pontossággal kell kiadagolni, megfelelő méretű cseppekre kell bontani, és a célfelületre minél egyenletesebben elosztva kell eljuttatni a lehető legkisebb környezetterhelés mellett. Ezeknek a feladatoknak a megoldására rendkívül sok, különböző rendszerű és kivitelű szórófejet, fúvókát fejlesztettek ki, amelyek a permetezés minőségét, hatékonyságát, környezeti hatásait a legnagyobb mértékben meghatározzák.

A hidraulikus cseppképzés során a permetlé cseppekre bontását a szórófejek kilépőnyílásán nyomás alatt kiáramló folyadéksugárra ható különböző erők biztosítják (Turba, 1976; Balázs és Dimitrievits, 1979; László, 1997).

László (1997) a cseppképzés folyamatát két fő szakaszra (szórófejen belüli és kilépőnyílás utáni) bontva ismertette. Ez alapján a szántóföldi permetezés során alkalmazott szórófejek esetében az első szakaszra a folyadékütköztetés jellemző (ezért a szerző az ilyen szórófejeket ütközéses szórófejeknek nevezi), a folyadéksugár cseppekre bomlása pedig a második szakaszban történik meg.

A cseppképzés mechanizmusát László (1997) a sugár-, illetve a hártya- vagy lamellabomlás elve alapján magyarázta, amelyet több szakirodalmi forrásban (Láng, 2000; László, 2003; Csizmazia, 2006; Dimitrievits és Gulyás, 2011) is leírtak. A 7. sz. ábra a hártyabomlás elvét szemlélteti.



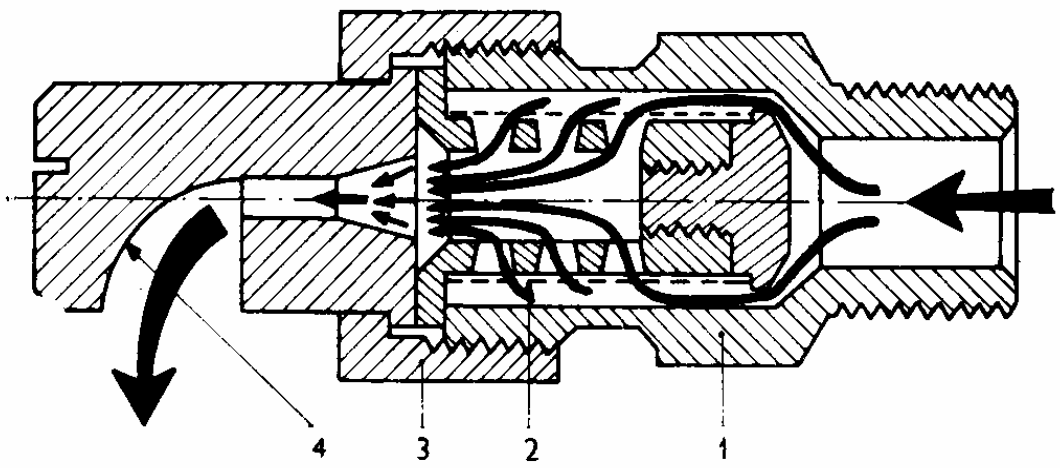
7. sz. ábra:
A cseppképződés folyamata a lamellabomlás elve alapján
(Forrás: László, 1997)

Dimitrievits és Kovács (2010) szerint az ütközéses rendszerű szórófejek esetében a folyadék a fúvókából történő kilépést követően legyezőszerű kapillárhártyában terül szét, ezért a szóráskép legyező alakú lesz. A hártya a fúvóka kilépőnyílásától távolodva fokozatosan elvékonyodik, ezáltal instabil szerkezetű, sima folyadékhártya képződik. A levegőben az aerodinamikai erők által generált hullámmozgás hatására hullámos folyadékhártya jön létre, amelyből a hullámmozgás kritikus amplitúdójának elérésekor rezgő folyadékszalagokból (folyadékszálakból) álló, rácsos szerkezettel jellemezhető hálózat alakul ki. Az instabil állapotú, rezgő folyadékszálak végül cseppekre bomlanak. A fúvókából kilépő folyadékréteg oldalsó éleiről is válnak le cseppek, amik az átlagosnál általában nagyobb méretűek (László, 1997; Sztachó-Pekáry, 2004).

A hivatkozott szerzők szerint az ütközéses szórófejek csoportján belül felületütközéses és folyadékütközéses szórófejeket lehet megkülönböztetni. A szakirodalom a felületütközéses szórófejeket általában ütközőlapos szórófejekként említi. A folyadékütközéses szórófejek vonatkozásában többféle megnevezés használatos (pl.: lapos sugarú vagy lapos szórású szórófejek), a legszélesebb körben azonban a réses szórófejek elnevezés terjedt el.

2.3.3.1 Ütközőlapos szórófejek

A szórófejek elvi felépítése a 8. sz. ábrán látható.



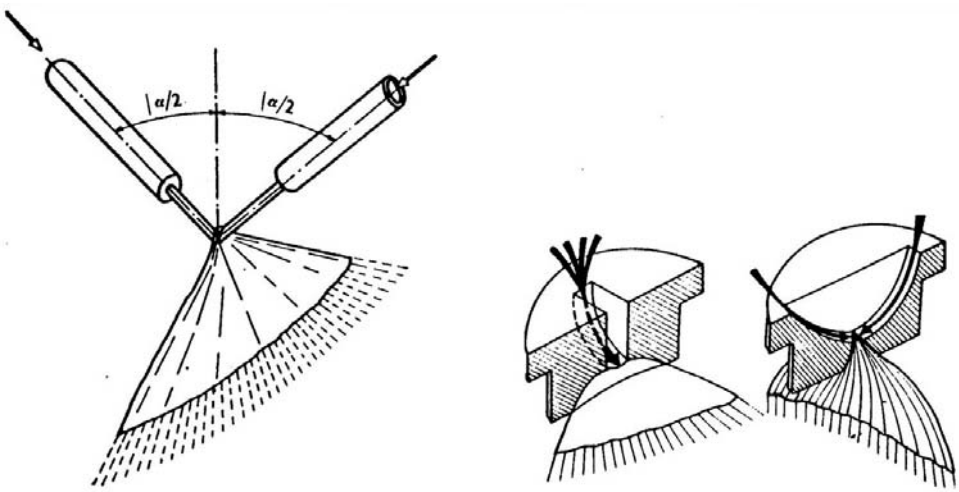
1. szórófejtest, 2. szűrő és szűrőváz, 3. rögzítőanya, 4. ütközőfelület

8. sz. ábra:
Ütközőlapos szórófej felépítése
(Forrás: Balázs és Dimitrievits, 1979)

Az ütközőlapos szórófejek esetében a hengeres alakú furaton kilövellt folyadéksugarat közvetlenül a kilépőnyílás elhagyását követően simára elmunkált ívelt vagy központosan elhelyezett merőleges szilárd felületnek vezetik, ezáltal a sugár - irányát megváltoztatva - szétterül (László, 1997; Csizmazia, 2006; Dimitrievits és Kovács, 2010). Az így kialakult folyadékhártya az ismertetett mechanizmus alapján nagyobb méretű cseppekre bomlik, mint a hagyományos kivitelű, lapos sugarú szórófejeknél. Ebből kifolyólag gyártói információ (HTTP3) és szakirodalmi források (Matthews, 2004; Silva, 2006) alapján az ilyen szórófejek - elsősorban alacsony üzemi nyomás mellett - alkalmasak a képzett részecskék elsodródási hajlamának, illetve az elsodródás mértékének és távolságának csökkentésére a hagyományos réses szórófejekhez képest.

2.3.3.2 Réses szórófejek

A réses szórófejek működési elvét szemlélteti a 9. sz. ábra.



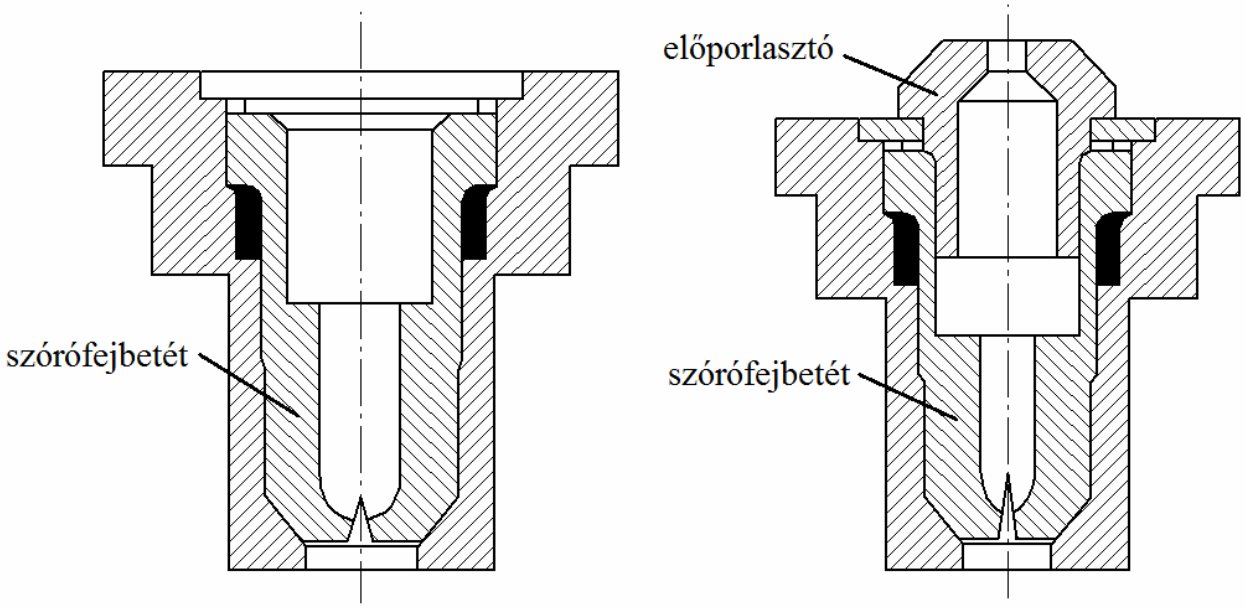
9. sz. ábra:
Réses szórófejek elvi működése
(Forrás: Balázs és Dimitrievits, 1979)

A réses szórófejeknél szemből egymásnak vezetett folyadéksugarak ütköznek össze és alkotnak legyezőszerű fátylat, majd a fentiekben részletezett elv szerint bomlanak cseppekre (Balázs és Dimitrievits, 1979; László, 2003).

Az MGI által a 43/2010. (IV. 23.) FVM rendelet értelmében adminisztratívan, illetve gépvizsgálattal lefolytatott kötelező típusminősítési eljárások kérelméhez a gyártó, illetve forgalmazó vállalatok részéről csatolt - elsősorban az engedélyeztetni kívánt növényvédelmi gépek műszaki tartalmára vonatkozó - dokumentáció alapján a szántóföldi permetezőgépek jelentős része manapság is hagyományos kivitelű réses fúvókákkal felszerelve kerül kereskedelmi forgalomba. Ez arra enged következtetni, hogy a tulajdonosok számottevő arányban üzemeltetik gépeiket a nevezett hagyományos műszaki megoldásokkal. Nordbo et al. (1995), Combellack et al. (1996) és Bayat és Bozdogan (2005) közleményeikben megerősítették ezt a következtetést, továbbá közzétették, hogy a hagyományos réses fúvókák jól alkalmazhatóak szántóföldön (pl.: vegyszeres gyomirtásnál) szélcsendes időben, hiszen a nagy mennyiségben képzett apró csepp miatt csökkenthető a felhasznált anyagmennyiség, és kedvező lehet a munkaminőség. Jelentős hátrányuk azonban, hogy a kis méretű cseppeket már igen gyenge szél vagy termik esetén is nehéz eljuttatni a célfelületre, fokozott az elsodródás, a környezetszennyezés veszélye, illetve a részecskék könnyen elpárologhatnak.

A fúvókagyártó vállalatok termékpalettáján szerepelnek széles nyomástartományban működő vagy, más néven, megnövelt hatósugarú, illetve univerzális réses fúvókák, amelyek szakszerű alkalmazása (elsősorban az üzemi nyomás helyes megválasztása) ugyan többféle permetezési eljárás vonatkozásában előnyösebb lehet (egyenletesebb eloszlást, jobb munkaminőséget biztosítanak, alkalmazási területük szélesebb, stb.), mint a hagyományos kivitelűeké, ezeket a fúvókákat a gyártók mégsem sorolják a környezetkímélő műszaki megoldások kategóriájába (HTTP4; HTTP5; HTTP6).

Gyártói specifikációk (HTTP7; HTTP8; HTTP9) és szakirodalmi források (Csizmazia, 2006; Sztachó-Pekáry, 2010; Dimitrievits és Kovács, 2010) egyaránt tartalmazzák, hogy az elsodródást csökkentő réses fúvókákba (Anti-Drift vagy elsodródás ellen védő fúvókáknak is nevezik ezeket) előporlasztó betétet helyeznek el. László et al. (2000) szerint a betét belsejében kialakított kamrában (előkamrában) megváltoznak az áramlási viszonyok, a folyadék nyomása már a kilépőnyílás előtt lecsökken, ezáltal nagyobb méretű cseppek képződnek, csökken az apró cseppek előfordulási gyakorisága. A feldolgozott források alapján, a fentiek miatt, az ilyen kialakítású fúvókák alkalmazásával - a megfelelő munkaminőség megtartása mellett - gyenge szél (szélsebesség: 2-4 m/s) esetében csökkenthető a cseppek elsodródásának mértéke, mérsékelhető a környezetszennyezés veszélye. A hagyományos kivitelű, illetve az Anti-Drift réses fúvókák felépítése a 10. sz. ábra alapján hasonlítható össze.

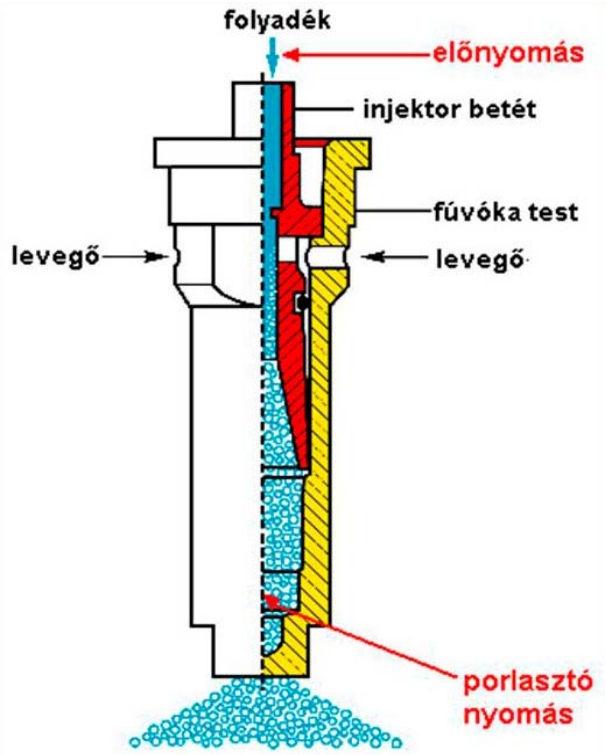


10. sz. ábra:

Hagyományos és elsodródás ellen védő réses fúvókák felépítése

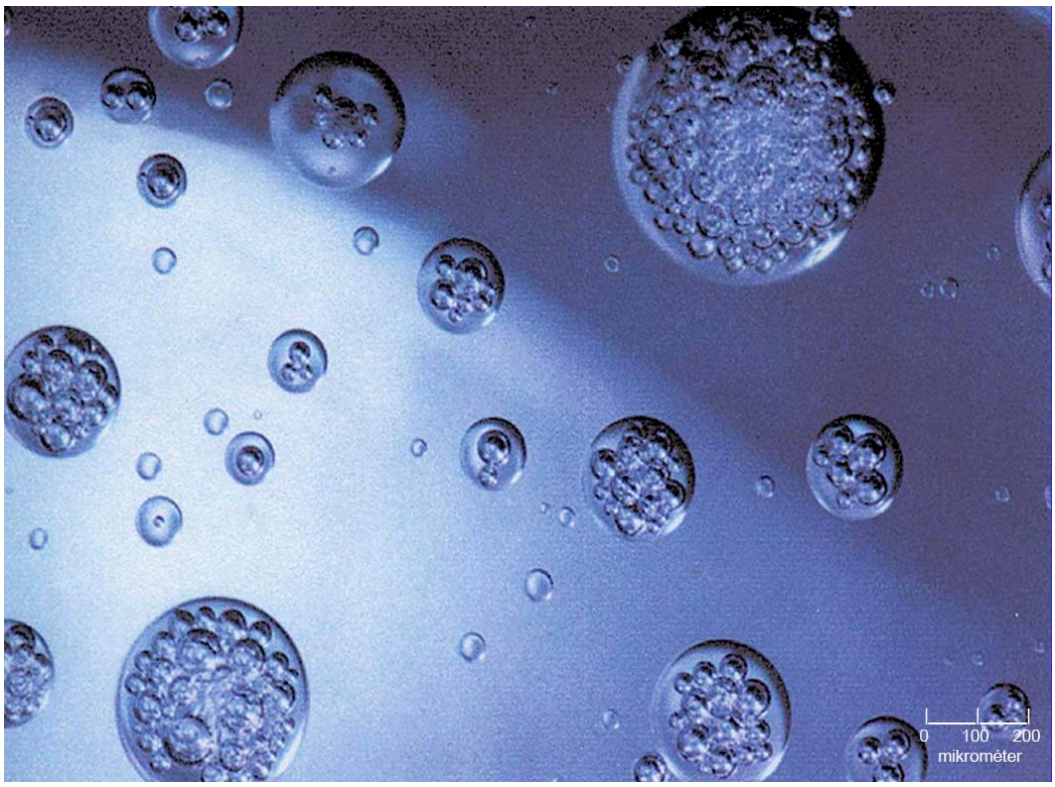
(Forrás: Dimitrievits és Gulyás, 2011)

Piggott and Matthews (1999) publikálta, közleményüket más szerzők, így Butler Ellis et al. (2002), Matthews (2004), Delele et al. (2007) és Jamar et al. (2010) és gyári adatok (HTTP10; HTTP11; HTTP12; HTTP13) is megerősítették, hogy a cseppképzési jellemzők megváltoztatásával a környezet megóvásának korszerűbb, jobb és biztosabb lehetőségét kínálják a légbeszívásos réses fúvókák (injektoros, levegő injektoros vagy passzív injektoros réses fúvókaként is említik ezeket). Ezeknél a fúvókába előnyomással áramló permetlé speciálisan kiképzett és elhelyezett furatokon keresztül - passzív módon - levegőt szív be, és azzal elkeveredik (11. sz. ábra).



11. sz. ábra:
Légbeszívásos réses fúvókák felépítése és működési elve
(Forrás: Dimitrievits és Kovács, 2010)

A cseppképzés során légbuborékokat tartalmazó részecskék keletkeznek. Ezt illusztrálja a 12. sz. ábra. Ennek következtében a fúvókából kilépő cseppek összességében sokkal nagyobb méretűek (a 100 µm-nél kisebb részecskék aránya pedig tovább csökken), jóval magasabb mozgási energiaszinttel jellemezhetők, mint a hagyományos és az elsodródás ellen védő fúvókáknál. Ezek a tulajdonságok erősebb szél (akár 6 m/s) esetén is biztosítják a célfelület biztonságos elérését (László et al., 2000; Csizmazia, 2006).

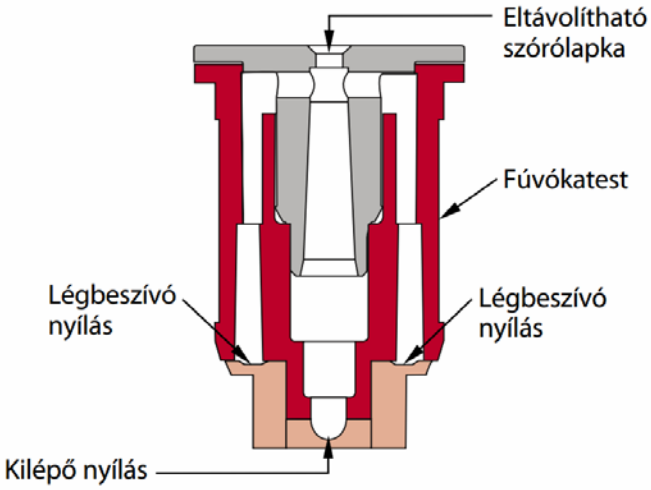


12. sz. ábra:
Légbeszívásos fúvóka által képzett cseppek
(Forrás: Dimitrievits és Gulyás, 2011)

A hivatkozott forrásokban foglaltak szerint a légbuborékokat tartalmazó cseppek a célfelülettel történő ütközéskor a bennük lévő levegő hatására szétpattannak (13. sz. ábra), ezáltal kisebb méretű részecskék keletkeznek, amelyek elégséges mértékű, egyenletes fedettséget, azaz kielégítő munkaminőséget biztosítanak.

13. sz. ábra:
Permetcseppek szétrobbanása a célfelületen
(Forrás: Dimitrievits és Gulyás, 2011)

A gyakorlatban használatosak olyan injektoros réses fúvókák is, amelyeket a gyártó vállalatok - külön típusként - azzal a céllal fejlesztettek ki, hogy ötvözzék a megnövelt hatósugarú, valamint a „hagyományos” légbeszívásos változatok előnyös tulajdonságait, ezért ezeket a műszaki megoldásokat légbeszívásos megnövelt hatósugarú fúvókáknak nevezik (HTTP14; HTTP15). A hivatkozott források szerint az ilyen fúvókák alkalmazásával az üzemeltetési és a környezeti jellemzők függvényében egyrészt - a hagyományos és a megnövelt hatósugarú réses fúvókák vonatkozásában leírtakhoz hasonlóan - mérsékelni lehet a felhasznált permetlé mennyiségét, és egyenletesebb fedettség érhető el, azaz jó munkaminőség biztosítható, másrészt a „hagyományos” passzív injektoros fúvókákra jellemző eldoródás csökkentő képesség is adott. A 14. sz. ábrán látható, hogy működési elvük hasonló, felépítésük azonban műszakilag nagymértékben különbözik a 11. sz. ábrán bemutatott légbeszívásos fúvókákétól, hiszen a fúvókatest befoglaló méretei, a levegő beszívására szolgáló furatok kiképzése, elhelyezése, a betétek méretei és elhelyezése, stb. eltérő.



14. sz. ábra:

Légbeszívásos megnövelt hatósugarú réses fúvókák felépítése és működési elve

(Forrás: HTTP16)

A szántóföldi permetezési gyakorlatban számos, speciális kialakítású, egyedi célra kifejlesztett réses szórófejet, fúvókát alkalmaznak, amelyek különböző kivitelben hozzáférhetőek. Csizmazia (2006), illetve Dimitrievits és Kovács (2010) egyaránt publikálták, hogy használatosak kettős réses fúvókák, amelyek haladási irányban a fúvóka előtt és mögött egy-egy permetlegyezőt hoznak létre, ezáltal zártabb növényállományokban végzett kezelések során jobb penetrációt biztosítanak, emellett a célfelületre különböző irányokból érkező cseppek egyenletesebb borítást, jobb munkaminőséget tesznek lehetővé az egy irányban szóró hagyományos réses fúvókákhoz képest.

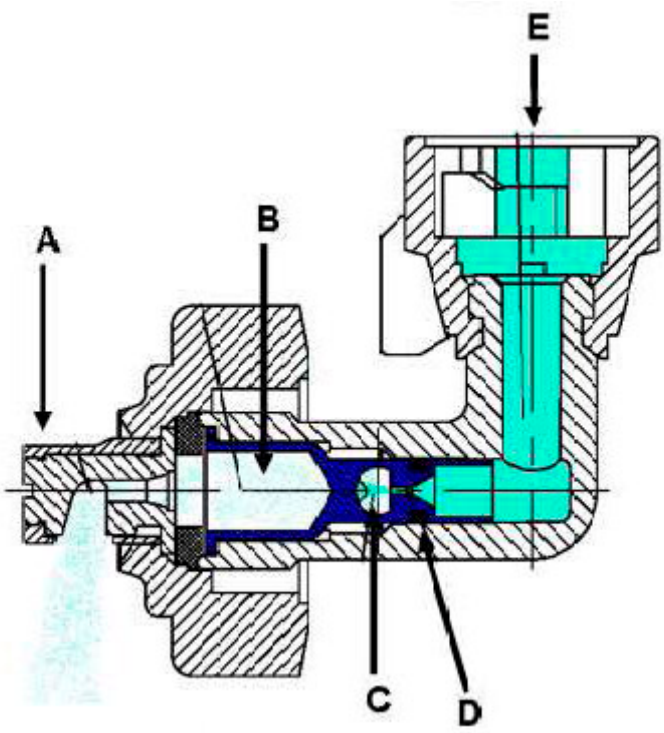
A környezeti elemek védelme érdekében ezek a fúvókák is készülnek légbeszívásos kivitelben (HTTP17; HTTP18).

Dimitrievits és Gulyás (2011) szerint alkalmazzák az aszimmetrikus vagy ferde szórásképű réses fúvókákat (pl: egyik vagy mindkét oldalon réselt vagy excenter fúvókák) is. Ezeket szántóföldön általában soros kultúrákban levelek alá történő permetezésre, valamint a szórókeretek szélére felszerelve zárófúvókaként használják. A - kiváltképp az injektoros kivitelben készült - zárófúvókák kiemelt környezetvédelmi jelentőséggel bírnak a táblaszélek, illetve környezeti szempontból különösen érzékeny területek (pl: felszíni vizek, lakott területek, stb.) közelében végzett kezelések esetében (HTTP19).

2.3.3.3 TwinFluid rendszer, TwinFluid szórófejek

Csizmazia (2006) közétette, közleményét Dimitrievits és Gulyás (2011) alátámasztotta, hogy a fúvókákba a levegő nem kizárólag passzív módon juthat be, hanem kompresszor segítségével légvezetékeken keresztül - aktív módon - is betáplálható (befúvatható). Az ilyen elven működő technikai megoldásokat légbefúvásos, levegő-betáplálásos vagy aktív injektoros szórófejeknek/fúvókáknak egyaránt nevezik, valamint gyakorta használatos a TwinFluid rendszerű vagy egyszerűbben TwinFluid szórófej elnevezés is (Combellack et al., 1996; Nguyen and Rhodes, 1998; Kufferath et al., 1999; Jensen et al., 2001; Csizmazia, 2006; Dimitrievits és Kovács, 2010). Markus et al. (2002), Ferreira et al. (2009), Wang et al. (2009) és Li et al. (2012) publikációjában egyaránt szerepel, hogy a TwinFluid szórófejek alkalmazása során a permetlé üzemi nyomásának és a levegő nyomásának együttes változtatásával a képzett cseppek mérete széles tartományban szabályozható, ennek következtében kedvezően alakulhat a munkaminőség, illetve az elsodródott cseppek mennyisége, valamint az elsodródás távolsága csökkenthető.

A 15. sz. ábrán olyan TwinFluid rendszerű komplett szórófej látható, amelybe ütközőlapos fúvókát szereltek azzal a céllal, hogy ötvözzék a nevezett technikák hatékonysági és környezetvédelmi szempontból előnyös tulajdonságait.



A: ütközőlapos fúvóka; B: keverőkamra; C: befúvott levegő;
D: kalibrált adagoló betét; E: permetlé

15. sz. ábra:
TwinFluid szórófej felépítése és elvi működése
(Forrás: HTTP20)

Pályi (2010), a hivatkozott szakmai referenciákkal és más forrásokkal (HTTP20; HTTP21) is összhangban, közleményében ismertette a szórófej működési elvét. Eszerint a szórófejbe táplált permetlé a kalibrált adagoló betétben kialakított keverőkamrában a kompresszorral befúvott levegővel elkeveredik, a folyadék-levegő elegy cseppekre bomlása egyrészt a keverőtérbe nagy mennyiségben betáplált levegő hatására (légporlasztás), illetve az ütközőlapos fúvóka segítségével (hidraulikus cseppképzés), tehát kombinált cseppképzés formájában valósul meg. A szórófejbe aktív módon bejuttatott levegő légporlasztási funkciója mellett légszállítást is végez, megkönnyítve ezáltal a részecskék célfelületre juttatását, csökkentve az apró cseppek elsodródásának mértékét és távolságát. A szórófej üzemi jellemzőit a cserélhető adagoló betét, az ütközőlapos fúvóka, valamint a permetlé- és levegőnyomás határozza meg.

2.3.4 Szántóföldi permetezőgépek anyagtakarékos, környezetkímélő műszaki megoldásai

Csizmazia (2006), valamint Dimitrievits és Gulyás (2011) szerint a vegyszeres növényvédelmi tevékenység jelentős anyagfelhasználással jár, a kijuttatott növényvédő szerek nagy része veszélyes, illetve káros az élő- és élettelen környezetre, tehát az emberre is (Székács, 1999; Ángyán et al., 2004; Szoboszlay és Kriszt, 2010). Ezért a szántóföldi permetezőgépek fejlesztésének is alapvető célja a kijuttatott permetlé mennyiségének minimalizálása, és a védekezések lehető legkisebb veszteséggel járó kivitelezése, azaz a hatékony és környezetbarát permetezés. A feladat megoldására anyagtakarékos, környezetkímélő műszaki megoldások állnak rendelkezésre.

Az előző fejezetben a vonatkozó szakirodalmi források tükrében ismertetett, szántóföldi permetezésre használt ütközőlapos fúvókák, az Anti-Drift, illetve a különböző kivitelű légbeszívásos réses fúvókák, valamint a TwinFluid szórófejek alkalmazásával - a felsorolt technikai megoldások speciális kialakítása, működési elve révén - megkímélhető a környezet. Ezek a szórófejek, fúvókák az alábbiakban bemutatott műszaki technológiákba lehetőség és szükség szerint integrálhatóak.

2.3.4.1 A szélsebességnek megfelelően változtatható cseppméretű permetezés

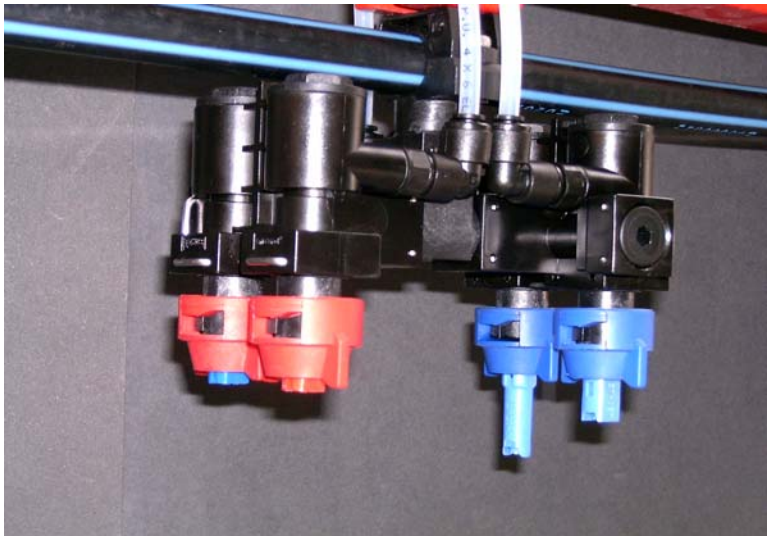
Gyártói információ (HTTP20) tanúskodik arról, hogy a levegő-betáplálásos szórófejek működési elve alapján kifejlesztettek, gyártanak és forgalmaznak olyan, viszonylag bonyolult felépítésű és drága permetezőgépeket (16. sz. ábra), amik lehetőséget biztosítanak arra, hogy a gépre szerelt szórófejek által képzett cseppek mérete a szélsebesség függvényében megváltoztatható legyen. Pályi (2011) publikálta, hogy az ilyen gépeken a feladatra alkalmas mérőeszközzel pontosan meghatározzák a szél sebességét, ezt követően a rögzített érték a központi számítógépbe kerül, ami a regisztrált adat tükrében szabályozza a szórókeretre felszerelt légbefúvásos szórófejekbe áramló permetlé- és a kompresszorral betáplált levegő nyomását. Ezáltal a kiszórt permetlé mennyisége, valamint a keletkezett permetcseppek elsodródásának mértéke és távolsága egyaránt csökkenthető. Ezt a műszaki technológiát szélarányos permetezésnek is nevezik.

16. sz. ábra:
Változtatható cseppméretű szántóföldi permetezés TwinFluid szórófejekkel felszerelt, John Deere 832 típusú permetezőgéppel

Dimitrievits (2008a) szerint a szél környezetvédelmi szempontból kedvezőtlen hatásai egyszerűbb és olcsóbb technikák alkalmazásával is mérsékelhetőek (amennyiben a szélsebesség meghatározásra és rögzítésre kerül). A 17. sz. ábrán látható megoldás esetében a szórókereten pneumatikusan kapcsolható, azonos méretű, hagyományos és kompakt kivitelű légbeszívásos réses fúvókák vannak egymás mellett elhelyezve. A fúvókák közül azt működtetik, amelyik a szélsebességnek jobban megfelelő méretű részecskék képzésére alkalmas. Ez a kivitel a változtatható cseppméretű permetezés (az elsodródás csökkentése) mellett - különböző méretű fúvókák alkalmazásával - a felhasznált anyagmennyiség módosítását is lehetővé teszi. Az egyszerű felépítés következtében a „szabályozási tartomány” természetesen korlátozott.

17. sz. ábra:
A változtatható cseppméretű permetezés egyszerű megoldása
(Forrás: Dimitrievits és Gulyás, 2011)

Hozzáférhetőek olyan speciális kialakítású szórófejtartók is (18. sz. ábra), amelyek szintén pneumatikus működtetéssel több szórófej és fúvóka egyidejű használatának lehetőségét biztosítják (Dimitrievits, 2007c; Dimitrievits at al., 2007; HTTP22). Ennek a megoldásnak köszönhetően tágabb határok között (többféle méretű és eltérő rendszerű fúvókák alkalmazásával) lehet változtatni a fajlagos szórásmennyiséget és a cseppméretet a szélsebesség függvényében.



18. sz. ábra:
Négyállású VarioSelect szórófejtartó
(Forrás: Dimitrievits és Gulyás, 2011)

2.3.4.2 Burkolóelemekkel felszerelt szántóföldi szórószerkezetek

Aránylag nehézkes működtetésükből, valamint relatíve komplikált kivitelükből fakadó csekély gyakorlati jelentőségük miatt csak érintőlegesen említi a szakirodalom (Dimitrievits és Gulyás, 2011; Bálint Tóth, 2012) a burkolóelemekkel ellátott szántóföldi szórószerkezeteket. A szerzők szerint a szórófejek síkja előtt elhelyezett burkoló elemek egyrészt mérsékelhetik a cseppek elsodródásának mértékét, másrészt az elemek kezelés közben elfektetik a növényeket, ezáltal sokkal kevesebb permetlé kerül a talajra, vagyis a védekezések kevésbé veszteségesek. Ilyen szórószerkezet tekinthető meg a 19. sz. és a 20. sz. ábrán.

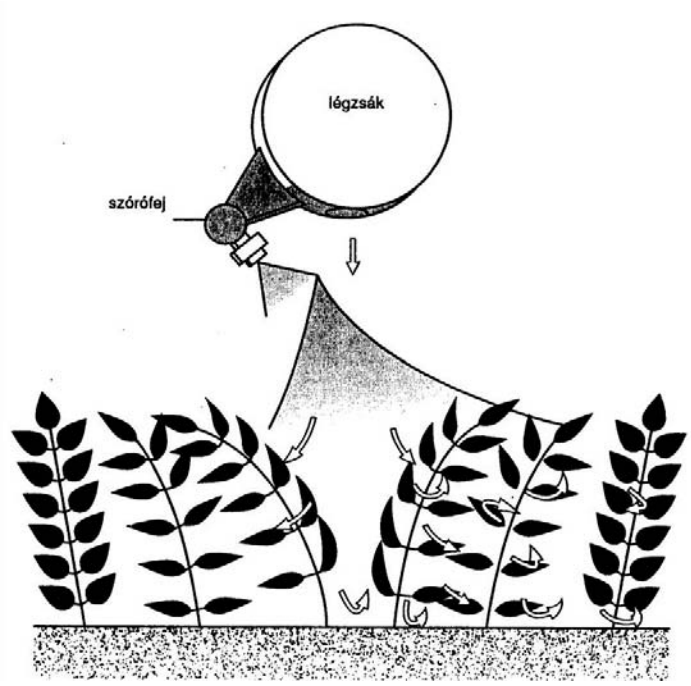
19. sz. ábra:
Burkolóelemekkel felszerelt szántóföldi szórókeret
(Dimitrievits és Gulyás, 2011)

20. sz. ábra:
Burkolóelemek helyzete közelről
(Dimitrievits és Gulyás, 2011)

2.3.4.3 Levegő-rásegítéses permetezés

Több szerző (Dimitrievits, 2007b; Demes, 2007; Fűzy és Soós, 2010; Sztachó-Pekáry, 2010) közzétette, hogy a fúvókák által képzett permet légáram segítségével történő irányításával a cseppek nagy arányban a célfelületre juttathatóak, tehát hatékonyan lehet csökkenteni a részecskék elsodródását. Az ismertetett elv alapján végzett anyagtakarékos, környezetkímélő eljárást légszállításos vagy levegő-rásegítéses, illetve légrásegítéses vagy légfüggönyös szántóföldi permetezésnek nevezik a hivatkozott szerzők. Ez az eljárás légzsákos vagy légszekrényes szórószerkezettel ellátott gépekkel valósítható meg. A légrásegítéses permetezési technológia megvalósítása műszaki szempontból lényegesen bonyolultabb és jóval költségesebb, mint a hidraulikus permetezés.

Dimitrievits (2007b, 2008b) konkrét géptípusok laboratóriumi és szabadföldi vizsgálata során szerzett tapasztalatai alapján publikálta a légzsákos permetezőgépek működési elvét, fontosabb előnyeit. A fenti szerző és Sztachó-Pekáry (2010) egymást megerősítő közleményeiben foglaltak alapján a légzsákos permetezőgépeken többnyire hidromotorról meghajtott, változtatható légteljesítményű axiálventilátor szállítja a levegőt a szórókeret fölé felszerelt, általában vászon tömlőbe (ezt nevezik légzsáknak), amelyeken alul szakszerűen kialakított és célszerűen elhelyezett kilépőnyílások találhatóak. A ventilátor által a légzsákba nyomott levegő a nyílásokon keresztül kiáramlik, a fúvókák által létrehozott permetcseppeket a kezelendő célfelületre szállítja. Sándor et al. (2008) szerint állománykezelésnél a légzsák helyzetének igény szerinti módosításával irányítható légáram a növényzetben utat nyit a permet számára, azaz elősegíti a penetrációt, javítva ezáltal a munkaminőséget és a hatékonyságot. Az így keltett légmozgás ezzel párhuzamosan jelentős mértékben csökkenti az elsodródást, ezért a légzsákos gépekkel erősebb szélben is biztonságosan (a környezetszennyezés veszélyének fokozódása nélkül) lehet permetezni. A leírt működési elvet szemlélteti a 21. sz. ábra, a 22. sz. ábrán pedig vontatott kivitelű, légzsákos szántóföldi permetezőgép látható.



21. sz. ábra:

A légzsákos szórószerkezetek működési elve

(Forrás: Dimitrievits és Kovács, 2010)

22. sz. ábra:

Vontatott kivitelű, légzsákos szántóföldi permetezőgép

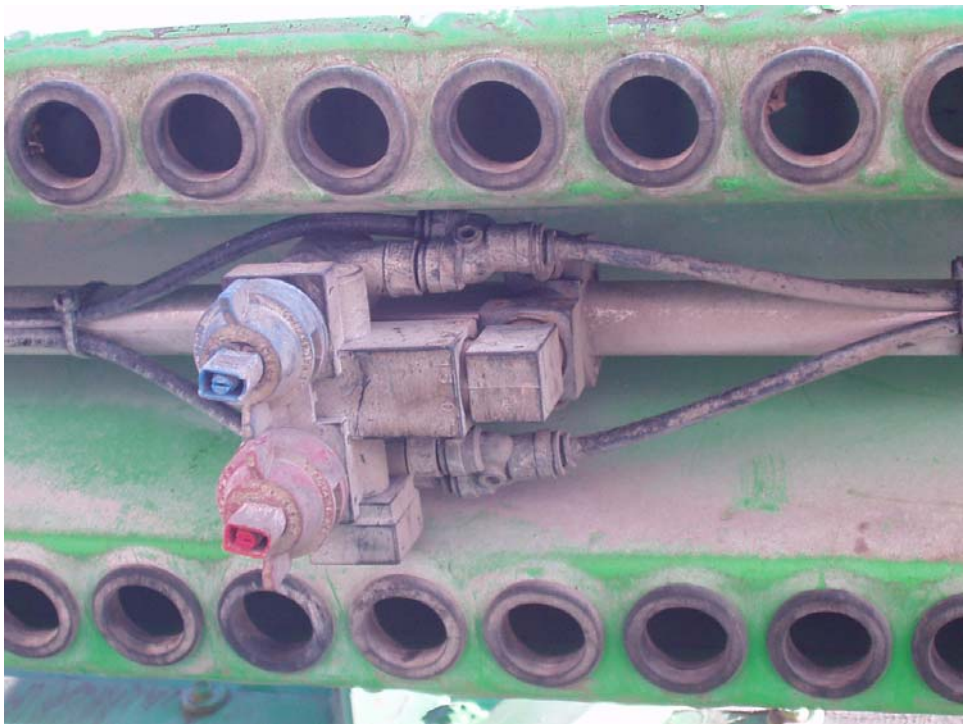
(Forrás: Dimitrievits és Gulyás, 2011)

Egyes gépgyártó vállalatok a levegő megvezetésére és elosztására lemezből készült légszekrényeket is szerelnek gépeikre (Demes, 2007; HTTP23). Légszekrényes szórószerkezettel ellátott, önjáró kivitelű szántóföldi permetezőgép tekinthető meg a 23. sz. és a 24. sz. ábrán.

23. sz. ábra:
Önjáró kivitelű légszekrényes szántóföldi permetezőgép
(Forrás: HTTP23)

24. sz. ábra:
Légszekrényes szórószerkezet
(Forrás: HTTP23)

Dimitrievits és Gulyás (2011) szerint és a gyári információ alapján a légszekrényes szórószerkezettel ellátott permetezőgépek esetében a munkaminőség és a hatékonyság tovább javítható, ha a levegő két (a szórófejek síkja előtt és mögött kialakított) furatsoron, vagyis kettős vagy dupla légfüggöny formájában lép ki a lemezszekrényből (25. sz. ábra). A kilépőnyílások méretének csökkentésével, ezzel párhuzamosan darabszámuk növelésével (sűrűbb elhelyezésükkel) a kiáramló levegő eloszlása a szórókeret teljes szélességében egyenletesebb. Az ilyen kivitelű szórószerkezetek jobb penetrációt biztosítanak, emellett használatukkal még eredményesebben, két oldalról lehet védeni a permetcseppeket a szél elsodró hatásától. A 25. sz. ábra azt is bemutatja, hogy az ismertetett VarioSelect szórófejtartó kétállású változatára felszerelt, különböző méretű, kompakt kivitelű, légbeszívásos réses fúvókák beilleszthetőek a levegő-rásegítéses permetezés-technológiába (is).



25. sz. ábra:
Dupla légfüggönyös légszekrényes szórószerkezet
Varioselect szórófejtatón elhelyezett, légbeszívásos fúvókákkal
(Forrás: Dimitrievits és Gulyás, 2011)

2.3.4.4 Precíziós gazdálkodás, helyspecifikus permetezés

A precíziós gazdálkodás módszerei az elmúlt évtizedben terjedtek el a gyakorlatban, elsődleges céljuk a hatékonyság növelése (a veszteségek, a költségek csökkentése) és a környezet védelme (Tamás, 2002; Reisinger, 2008; Milics és Neményi, 2010). Tamás (2002), Fenyvesi és Papp (2007), valamint Sándor et al. (2008) a precíziós mezőgazdaság feltételrendszerének alappilléreiként a műholdak követésén alapuló, nagy pontosságú, folyamatos helymeghatározást, az elemzés térinformatikai és távérzékelési eszköztárát, továbbá az automatizált terepi munkavégzést nevezték meg. A szerzők szerint a mezőgazdasági művelés alatt álló területek egyes pontjain folyamatosan nyomon kell követni, és meg kell határozni a tervezett beavatkozások szempontjából releváns, időről időre változó tényezőket. A pontos helymeghatározásra azért van szükség, hogy később - a kezelések elvégzésekor - a korábban rögzített pontokra vissza lehessen találni. Ezt a célt szolgálják a különböző helymeghatározó rendszerek, amelyek közül a GPS-t alkalmazzák a legszélesebb körben (Nagy, 2008; Viniczai, 2009; Sztachó-Pekáry, 2010). A GIS a térinformatika eszköze, ami - egyebek mellett - alkalmas földrajzi helyhez köthető adatok kezelésére és megjelenítésére, így például mezőgazdasági táblák légi felvételek, illetve műholdképek segítségével történő ábrázolására (Sándor et al., 2008; Reisinger és Borsiczky, 2009). Megfelelő kialakítású és felszereltségű (pl.: a fenti információ kezelésére, tárolására, stb. képes központi számítógép, a szükséges műszaki megoldások) gépek, korszerű műszaki technológiák alkalmazásával a terepi munka automatizálható (Molnár, 2009; Sztachó-Pekáry, 2010).

Helyspecifikus permetezés

A legjobb hatékonyság és a környezeti elemek legmagasabb fokú védelme a feldolgozott szakirodalmi források mindegyike alapján szántóföldi gyomirtás esetében is precíziós gazdálkodási módszerrel, helyspecifikus permetezési eljárással biztosítható, aminek több lehetséges módját, technikai megoldását említi a szakirodalom. Helyspecifikus szántóföldi permetező rendszer példája látható a 26. sz. ábrán.

26. sz. ábra:

Helyspecifikus szántóföldi permetező rendszer (példa)

(Forrás: Dimitrievits és Gulyás, 2011)

A helyspecifikus permetezés kiemelt jelentőségét általánosságban abból kiindulva lehet igazolni, hogy a szántóföldeken a gyomnövények eloszlása az esetek döntő többségében sem térben, sem időben nem egyenletes. A gyomfészkek heterogén térbeli elhelyezkedését illusztrálja a 27. sz. ábra.

27. sz. ábra:

Gyomok megjelenése szántóföldön

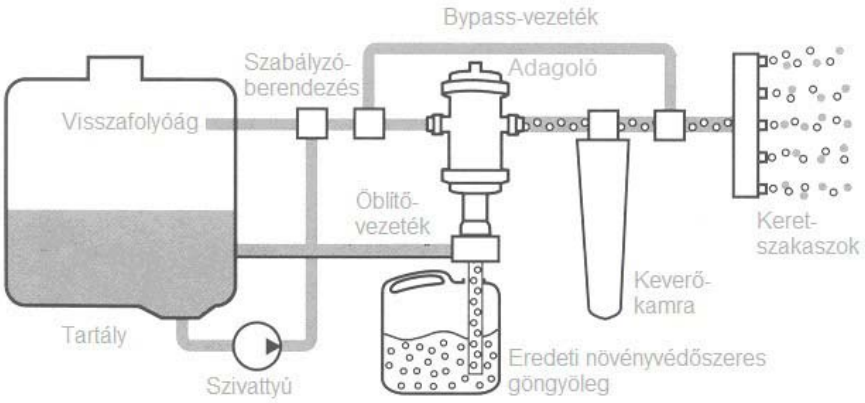
(Forrás: Dimitrievits és Gulyás, 2011)

A hagyományos technológiák alkalmazása során a teljes területet kezelik abban az esetben is, ha a gyomosodás csak a tábla bizonyos részeit érinti, a helypecifikus permetezés keretében ugyanakkor kizárólag azokra a felületekre juttatnak permetlevet, ahol a gyomirtásra valóban szükség van (Dimitrievits, 2008a; Reisinger, 2008; Avar, 2009).

Utófeldolgozáson alapuló gyomérzékelési és -felismerési eljárások segítségével végzett helyspecifikus permetezés, közvetlen hatóanyag (vegyszer) adagolás

Az utófeldolgozáson alapuló (offline) gyomérzékelési és -felismerési eljárások esetében Sándor et al. (2008) szerint, amennyiben a tervezett permetezések kapcsán az előforduló gyomfajokra, a gyomok elhelyezkedésére, állománysűrűségére vonatkozó aktuális és részletes információ rendelkezésre áll (pl.: levegőből készített digitális felvételek), a GPS, a digitális képfeldolgozás és a GIS együttes használatával a kezelni kívánt területre vonatkozó gyomtérképek elkészíthetőek. A gyomtérkép a permetezőgép fedélzeti számítógépébe kerül betáplálásra, ennek alapján a gép a korábban rögzített GPS-koordinátáknak megfelelően pontosan a mezőgazdasági tábla azon részeire szórja ki a szükséges dózisú permetlevet, ahol a gyomokat észlelték, ezáltal a felhasznált anyagmennyiség jelentős mértékben csökkenthető.

Gillis et al. (2002) publikálta, közleményét Downey et al. (2006) és Sándor et al. (2008) egyaránt megerősítette, hogy a helyspecifikus kezelés műszakilag viszonylag egyszerű lehetőségét kínálja a közvetlen vegyszer adagolás módszere is. A közvetlen adagolású permetezőgépekkel többféle gyomirtó szer külön-külön történő vagy egyidejű, a helyi gyomborítottságnak megfelelő, sebességarányos kijuttatása is megvalósítható. Az ilyen kialakítású gépek működési elvét a 28. sz. ábra szemlélteti.



28. sz. ábra:

Közvetlen vegyszer-adagolású permetezőgépek működési elve

(Forrás: Csizmazia, 2006)

A hivatkozott szerzők közleményeivel összhangban Sztachó-Pekáry (2010), valamint Dimitrievits és Gulyás (2012a) szerint a közvetlen vegyszer-adagolású gépek tartályába vizet töltenek, a vegyszereket pedig közvetlenül az eredeti növényvédő szeres göngyölegekből (kannák, flakonok, stb.) vagy célszerűen kialakított és elhelyezett, különálló tartályokból (pl.: törzsoldat formájában injektálható, nedvesíthető porok esetében) lehet felhasználni. A vegyszereket tartalmazó tartályokban a törzsoldat homogenitásának biztosítása érdekében rendszerint szakaszos és folyamatos működésre egyaránt alkalmas keverő berendezéseket alkalmaznak. A gép elektronikus szabályzó berendezése által kiadott parancs alapján az adagoló szivattyúk a göngyölegekből vagy a vegyszertartályokból a főszivattyú által szállított vízbe injektálják a szereket, ezt követően a vegyszer-víz elegy a nagyteljesítményű keverőkamrába jut, ami a szórószerkezethez a lehető legközelebb kerül elhelyezésre. A homogenizált elegyet, azaz a permetlevet - a hagyományos gépekhez hasonlóan - a szórófejek bontják cseppekre és juttatják el a célfelületre. A gyomokra vonatkozó szükséges adatok (pl.: fertőzési térkép) megléte esetén (offline gyomérzékelés és -felismerés) tehát a közvetlen vegyszer-adagolású permetezőgéppekkel helyspecifikusan lehet gyomfoltokat kezelni menet közben változtatható dózisú és összetételű permetlével (Sándor et al., 2008). A rendszer anyagtakarékos és környezetkímélő, ráadásul a hatékonyságot még tovább fokozza azáltal, hogy kiküszöböli, hogy a permetezés befejezését követően, illetve a kedvezőtlen időjárási körülmények vagy műszaki hiba miatt bekövetkező, kényszerű leállások esetében a gépben permetlé maradjon, ami rendeltetésszerűen a későbbiekben már nem szórható ki (Dimitrievits és Gulyás, 2012a).

Helyspecifikus permetezés közvetlen gyomérzékelési és -felimerési eljárások alapján

Gaál et al. (2004) és Sándor et al. (2008) közzétették, hogy a helyspecifikus permetezést olyan permetező berendezéssel is el lehet végezni, amely képes a gyomok közvetlen (online) érzékelésére, illetve felismerésére. Ezeket a módszereket növényérzékelős permetezésnek is nevezik. Alkalmazásukkal megvalósítható a valós idejű (real-time) kijuttatás, aminek - a célpont online érzékelésén és felismerésén túlmenően - alapfeltételei a gyors helyszíni adatfeldolgozás és a pontos hatóanyag-kiszórás.

Sándor et al. (2008) szerint az ún. Multi-sensor rendszer a gyomok érzékelését, illetve a növények megkülönböztetését az egyes szórófejek elé felszerelt érzékelők segítségével oldja meg. A rendszer működése fotodiódák segítségével meghatározott - a gyomnövényekre jellemző - visszavert fény hullámhosszának vezérlőjelként való felhasználásán alapul, tehát valódi képalkotás nem történik.

A beérkezett, a kezelendő célfelületre vonatkozó adatok alapján a szórófejek működését központi számítógép vezérli (mágnesszelepek segítségével), ami a fogadott radarjelnek megfelelően elvégzi a munkasebesség miatt szükséges korrekciókat is.

A Gaál et al. (2004) által bemutatott rendszer esetében a permetező berendezés elején elhelyezett kamera meghatározott szélességű sávról felvételt készít (valódi képalkotás), ez alapján a fedélzeti számítógép elkészíti és ábrázolja az ún. pillanatnyi gyomtérképet. A szórófejeket a fenti rendszer vonatkozásában leírtakhoz hasonlóan vezérlik, a berendezés közvetlen vegyszer-adagolású és cirkulációs rendszerű. A szerző szerint ez a műszaki technológia vasúti töltések és környezetük gyomirtására jól alkalmazható. A vasúti gyomirtás vonatkozásában a hatékonyság (összességében rendkívül nagy méretű kezelendő terület) és a környezetvédelem (nagy haladási sebesség) a szántóföldi technológiákhoz hasonlóan kiemelt jelentőséggel bírnak.

A korábbi fejezetekben ismertetett egyes műszaki megoldások (pl.: a több szórófej együttes befogadására alkalmas VarioSelect szórófejtartók) a helyspecifikus permetezés műszaki technológiájába beilleszthetőek, valamint bizonyos anyagtakarékos, környezetkímélő eljárások szükség és lehetőség esetén célszerűen kombinálhatóak (pl: szélarányos és helyspecifikus permetezés).

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

Vizsgálati tárgyaim kiválasztásának legfontosabb kritériumaként azt tartottam szem előtt, hogy valamelyik világszerte ismert és elismert, szórófejeket és fúvókákat gyártó vállalat jó minőségű termékeit vizsgáljam meg, hiszen a nevezett szempontoknak megfelelő cégek (pl.: Agrotop, Albuz, Hardi, Lechler, TeeJet) precíz gyártási folyamattal, magas színvonalú kutatás-fejlesztési tevékenységgel és szigorú minőségbiztosítási rendszerrel jellemezhetőek.

A hidraulikus szántóföldi permetezés vonatkozásában a példaként említett vállalatok teljes termékpalettáját áttekintettem, majd modellszemlélet segítségével számos szempont (pl.: műszaki és működési jellemzők, alkalmazási terület, környezetvédelmi szempontból előnyös és hátrányos tulajdonságok, stb.) alapján összehasonlítottam azokat a szórófejeket, illetve fúvókákat, amelyek vizsgálati objektumokként szóba jöhettek.

Választásom különböző típusú (hagyományos, elsodródás ellen védő, légbeszívásos megnövelt hatósugarú és „klasszikus” légbeszívásos) TeeJet gyártmányú réses fúvókákra, továbbá John Deere permetezőgépeken alkalmazott TwinFluid szórófejre esett, ami szintén TeeJet részegységekből épül fel. Döntésemet az indokolta, hogy a vonatkozó szakirodalom, a gyári adatok, valamint gépvizsgálati- és gépminősítési gyakorlati tapasztalataim szerint egyrészt ezeket a műszaki megoldásokat hazánkban is széles körben alkalmazzák szántóföldi permetezés keretében, másrészt a felsorolt újabb típusú fúvókák, illetve szórófej használata a környezetkímélő kijuttatás lehetőségét is kínálja.

Vizsgálataim első lépéseként a kiválasztott technikai megoldások cseppképzését, azaz a keletkezett részecskék méret szerinti eloszlását vizsgáltam meg laboratóriumi körülmények között eltérő üzemi jellemzők, illetve különböző beállítások mellett lézeres csepp-analizátor segítségével.

Ezt követően a réses fúvókák és a TwinFluid szórófej által képzett cseppek elsodródásának mértékét és távolságát határoztam meg szélcsatornában, a cseppképzés-vizsgálatoknál alkalmazottakkal azonos üzemi paraméterek, ill. beállítások mellett különböző szélsebességek esetében.

Vizsgálati eredményeimet numerikus formátumban közöltem és/vagy grafikusan ábrázoltam, minden részletre kiterjedően pedig azokat az adatokat értékeltem és elemeztem, amelyek a permetezés környezeti hatásai tekintetében kiemelt jelentőségűek.

3.1 Cseppképzés-vizsgálatok

A vizsgált TeeJet gyártmányú réses fúvókák gyártó által megadott fontosabb műszaki jellemzőit a 2. sz. táblázat tartalmazza.

2. sz. táblázat: A vizsgált réses fúvókák főbb gyári technikai paraméterei (Forrás: HTTP24)

Fúvóka pontos megnevezése	Fúvóka típusa	Szórási szög (°)	Méret*/ ISO-színkód**	Fúvókabetét anyaga***	Üzemi nyomás-tartomány (bar)	Optimális permetezési magasság (cm)
TP11004VP	TP/ hagyományos	110	04/ piros	polimer (VP)	2-4	50
DG11004VS	DG/ elsodródás ellen védő	110	04/ piros	rozsdamentes acél (VS)	2-5	50
AIXR11004VP	AIXR/ légbeszívásos megnövelt hatósugarú	110	04/ piros	polimer (VP)	1-6	50
AI11004VS	AI/ légbeszívásos	110	04/ piros	rozsdamentes acél (VS)	2-8	50

Megjegyzések:

*: A „04 méret” azt jelenti, hogy a fúvóka névleges szórásteljesítménye 2,8 bar üzemi nyomáson 1,5 l/min (HTTP24).

**: A „piros ISO-színkód” jelentése az ISO 10625:2005 számú szabvány szerint: a fúvóka névleges folyadékfogyasztása 3,0 bar üzemi nyomás mellett 1,6 l/min.

***: A fúvókabetét anyaga kizárólag a kopásállóságra, azaz a fúvóka élettartamára gyakorol hatást.

A vizsgált, John Deere permetezőgépeken alkalmazott TwinFluid 042/TK-SS10 típusú műszaki megoldás olyan komplett levegő-betáplálásos TwinFluid szórófej, amely a következő TeeJet gyártmányú részegységekből épül fel: kompakt kivitelű szórófejtartó (1 darab), 042 méretű kalibrált adagoló betét (1 db), különálló szórófejsapka (1 db), gumiból készült O-gyűrű (1 db), TK-SS10 típusú ütközőlapos fúvóka (1 db).

A 29. sz. ábra TwinFliud szórófej felépítését, valamint hagyományos kivitelű, csepegésgátló membránszeleppel ellátott szórófejtartókra szerszám nélkül történő felszerelhetőségét szemlélteti.

29. sz. ábra:
TwinFluid szórófej felépítése és rögzítése
(Forrás: HTTP20)

A TwinFluid 042/TK-SS10 szórófejre vonatkozó fontosabb gyári technikai adatok a 3. sz. táblázatban láthatóak.

3. sz. táblázat: A vizsgált TwinFluid 042/TK-SS10 szórófej főbb gyári műszaki jellemzői (Forrás: HTTP20)

Nyomás (bar)		Cseppméret*	Névleges szórásteljesítmény (l/min)
Folyadék	Levegő		
1,00	1,00	nagyon finom	0,30
2,00	1,25		0,60
2,50	1,50		0,68
1,50	1,00	finom	0,51
2,50	1,25		0,75
3,50	1,50		0,95
1,50	0,75	közepes	0,59
2,00	1,00		0,67
4,00	1,50		1,05
1,50	0,50	durva	0,67
2,50	0,75		0,88
3,50	1,00		1,04

Megjegyzés:

*: A cseppméreteket a szórófej gyártója a - szakirodalmi források (Southcombe, 1988; Hewitt et al., 1998; van de Zande et al., 2008) szerint is elfogadott - BCPC osztályozási rendszer módszertani leiratában foglaltak alapján a kalibrált adagoló betét (042), illetve a folyadék-, és levegőnyomás függvényében közölte (HTTP20).

A cseppképzés-vizsgálatok nem befolyásolható (determinált) és beállítható paramétereit, a beállítható jellemzőkre vonatkozó beállítási határértékeket, valamint a méréssel meghatározható cseppképzési jellemzőket a 4. sz. táblázatban adtam meg.

4. sz. táblázat: A cseppképzés-vizsgálatokhoz kapcsolódó jellemzőcsoportok és beállítási határértékek

Nem befolyásolható környezeti paraméterek	Beállítható jellemzők	Beállítási határértékek	Mérhető jellemzők
- környezeti levegő jellemzői: - hőmérséklet - relatív páratartalom - légmozgás (sebesség, irány) - folyadék** hőmérséklete	folyadék** nyomása (bar)	0,0-10,0	- d_{v10} (µm) - 100 µm-nél kisebb cseppek aránya (%) - d_{v50} (µm) - d_{v90} (µm)
	levegő nyomása* (bar)	0,0-10,0	
	rögzítési magasság (m)	0,0-1,0	

Megjegyzések:

*: Kizárólag a TwinFluid szórófejre vonatkozik.

**: Az ISO 5682-1:1996 számú szabvány 4.1 fejezete szerint: szilárd halmazállapotú szennyeződéstől mentes tiszta víz (csap- vagy vezetékes víz).

A determinált jellemzők közül VIKING THERMO-HYGRO típusú, kalibrált, digitális mérőeszköz (mérési tartomány: -10,0-50,0 °C, illetve 24-99 %; felbontás: 0,1 °C, illetve 1 %) segítségével az összes vizsgálat teljes időtartama alatt mértem a környezeti levegő hőmérsékletét és relatív páratartalmát. A felhasznált folyadék hőmérsékletét is meghatároztam LOMBIK higanyszálas, belső skálás típusú kalibrált üveghőmérővel (mérési tartomány: 0,0-50,0 °C; felbontás: 0,1 °C).

Mindhárom paraméter vonatkozásában a minimum- és a maximum értékeket rögzítettem.

Ezek alapján a levegő hőmérséklete 18,9-22,7 °C között, a relatív páratartalom 41-59 % intervallumban, a felhasznált folyadék hőmérséklete pedig 15,5-19,4 °C tartományban változott a réses fúvókák, illetve a TwinFluid szórófej mérése során.

A beállítható jellemzők értékét a réses fúvókákat, illetve a TwinFluid szórófejet gyártó vállalat ajánlásai (HTTP20; HTTP24), továbbá a szántóföldi permetezésre vonatkozó gyakorlati tapasztalataim alapján választottam meg. A réses fúvókákra vonatkozó beállításokat az 5. sz., a TwinFluid szórófej esetében alkalmazottakat pedig a 6. sz. táblázatban közöltem.

5. sz. táblázat: A réses fúvókák cseppképzés-vizsgálati beállításai

Fúvóka pontos megnevezése	Üzemi nyomás (bar)	Permetezési magasság (m)
TP11004VP	3,0 és 4,0	0,5
DG11004VS	3,0 és 4,0	0,5
AIXR11004VP	3,0 és 4,0	0,5
AI11004VS	3,0 és 4,0	0,5

A réses fúvókák vizsgálatánál a nyomást HBM PE 300A/20B típusú, kalibrált, digitális nyomástávadó (mérési tartomány: 0,0-20,0 bar; mérési pontosság: ±0,3 %; felbontás: 0,1 bar) segítségével állítottam be, a munkamagasságot pedig kalibrált acél mérőszalaggal ellenőriztem.

6. sz. táblázat: A TwinFluid 042/TK-SS10 szórófej cseppképzés-vizsgálati beállításai

Beállítás sor- és azonosító száma	Nyomás (bar)		Cseppméret*	Permetezési magasság (m)
	Folyadék	Levegő		
1.	2,00	1,25	nagyon finom	0,5
2.	2,50	1,25	finom	0,5
3.	1,50	0,75	közepes	0,5
4.	1,50	0,50	durva	0,5

Megjegyzés:

*: Ld. a 3. sz. táblázat alatt.

A TwinFluid 042/TK-SS10 szórófej vonatkozásában a folyadék nyomását szintén a fenti, kalibrált, digitális nyomástávadóval, a levegőét pedig INGERSOLL-RAND R18-C4-F000 típusú kalibrált légnyomásmérővel (mérési tartomány: 0,0-10,0 bar; mérési pontosság: ±1 %; osztás: 0,1 bar) állítottam be, a permetezési magasság ellenőrzésének eszköze és módja megegyezett a réses fúvókák kapcsán leírtakkal.

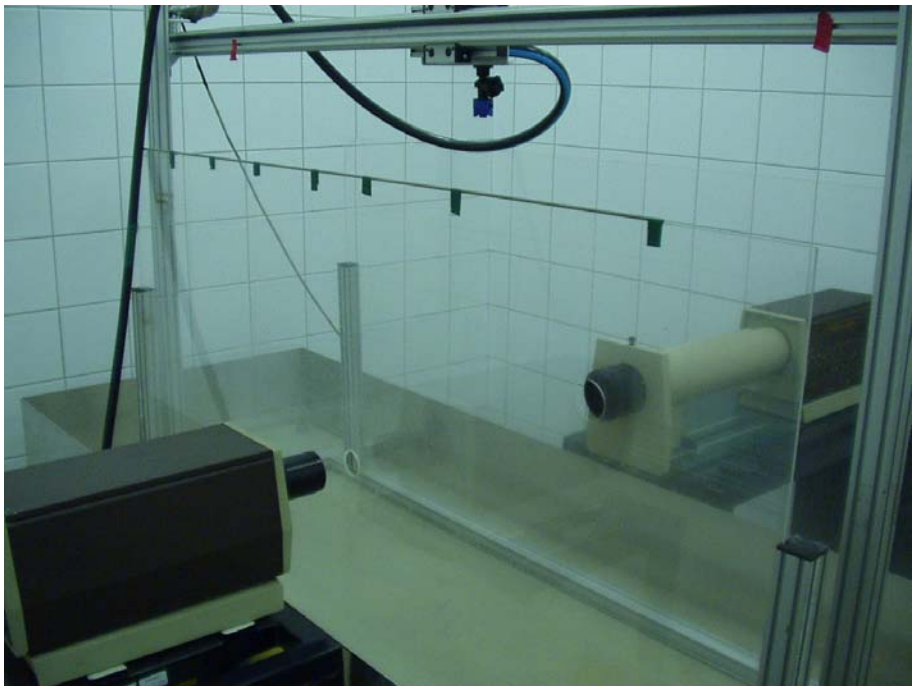
A réses fúvókák és a TwinFluid szórófej cseppképzési jellemzőit, más szerzőkhöz (Juslin et al., 1995; Hewitt et al., 1998; Zaidi et al., 1998; Ma et al., 2000; Teske et al., 2002; Hewitt, 2008) hasonlóan, diffrakciós elven működő, Malvern 2600 C típusú lézeres részecske-analizátor segítségével határoztam meg az MGI szakmailag illetékes, akkreditált státusszal rendelkező vizsgálólaboratóriumában. Az alkalmazott mérőeszköz legfontosabb metrológiai jellemzői a gyártó által kiadott és a berendezéshez mellékelt felhasználói kézikönyvben megtalálható specifikáció szerint: mérési tartomány: 0,5-1800,0 μm; mérési pontosság: ±4 %; felbontás: 0,1 μm.

Az egymástól eltérő befoglaló méretekkel jellemezhető réses fúvókák cseppképzési vizsgálatát megelőzően első lépésben a vizsgálatok során segédeszközként használt egy darab, fúvókát nem tartalmazó szórófejet (csepegésgátló membránszelep, szórófejtartó, szórófejsapka, gumitömítés) saját fejlesztésű mérőállványon rögzítettem. A szórófejbe szerelt vizsgálandó réses fúvókák kilépőnyílása pontosan a permetlegyezőn a legyező hosszirányú tengelyére merőlegesen átbocsátott lézersugár hosszanti középpontja fölött, a sugár síkjától a megválasztott távolságban helyezkedett el. Így biztosítottam a szántóföldi permetezési gyakorlatban általánosan elterjedt permetezési magasságot, továbbá a mérésekhez megfelelő elhelyezést (30. sz. ábra).

A TwinFluid szórófejet ugyanazon szórófej csepegésgátló membránszeleppel ellátott szórófejtartójára szintén a leírtak szerint szereltem fel.

Második lépésben a vizsgálatok során alkalmazandó üzemi jellemzők függvényében fúvókánként, illetve a TwinFluid szórófej esetében beállításonként meghatároztam, majd jól láthatóan és tartósan bejelöltem a szimmetrikus permetlegyezők széleit azonosító pontokat (referenciapontok). A gyártói felhasználói kézikönyvben foglaltak alapján a szórófejet a mérési célhoz kifejlesztett mérőállványhoz rögzített vízszintes sínpályán, minden esetben egyenletes 0,01 m s^{-1} sebességgel mozgatva a referenciapontok közötti szakaszon a teljes permetlegyezőt vizsgáltam. A réses fúvókák vonatkozásában két különböző üzemi nyomáson fúvókánként, illetve a TwinFluid szórófej esetében beállításonként háromszoros ismétlésben folytattam le a vizsgálatokat. A méréssel meghatározott, a műszaki megoldások cseppképzését jellemző paraméterek kerekített átlagértékeit és a vonatkozó szórásértékeket numerikus formátumban közöltem.

Az ismertetett vizsgálati módszert illusztrálja a 30. sz. ábra.



30. sz. ábra:

A lézeres részecske-analizátorral végzett cseppképzés-vizsgálatok illusztrációja

A vizsgálati eredmények közül a d_{v10}-et és a 100 µm-nél kisebb méretű cseppek arányát értékeltem és elemeztem részletesen, mivel a méréssel meghatározott jellemzők közül ezek a paraméterek gyakorolják a legnagyobb hatást a részecskék elsodródási hajlamára, ezzel összefüggésben a permetezés lehetséges környezeti hatásaira.

3.2 Elsodródás-vizsgálatok szélcsatornában

Az elsodródás-vizsgálatok nem befolyásolható és beállítható paraméterei, a beállítási határértékek, valamint a méréssel meghatározható jellemző a 7. sz. táblázatban tekinthetőek meg.

7. sz. táblázat: Az elsodródás-vizsgálatokra jellemző paramétercsoportok és beállítási határértékek

Nem befolyásolható környezeti paraméterek	Beállítható jellemzők	Beállítási határértékek	Méréssel meghatározható jellemző
- környezeti levegő jellemzői: - hőmérséklet - relatív páratartalom - lamináris légáram iránya (szélirány) - folyadék** hőmérséklete	folyadék** nyomása (bar)	0,0-10,0	relatív fedettség (%)
	levegő nyomása* (bar)	0,0-10,0	
	szélsebesség (m s^{-1})	0,0-10,0	
	rögzítési magasság (m)	0,0-1,0	

Megjegyzések:

*: A TwinFluid szórófej esetében.

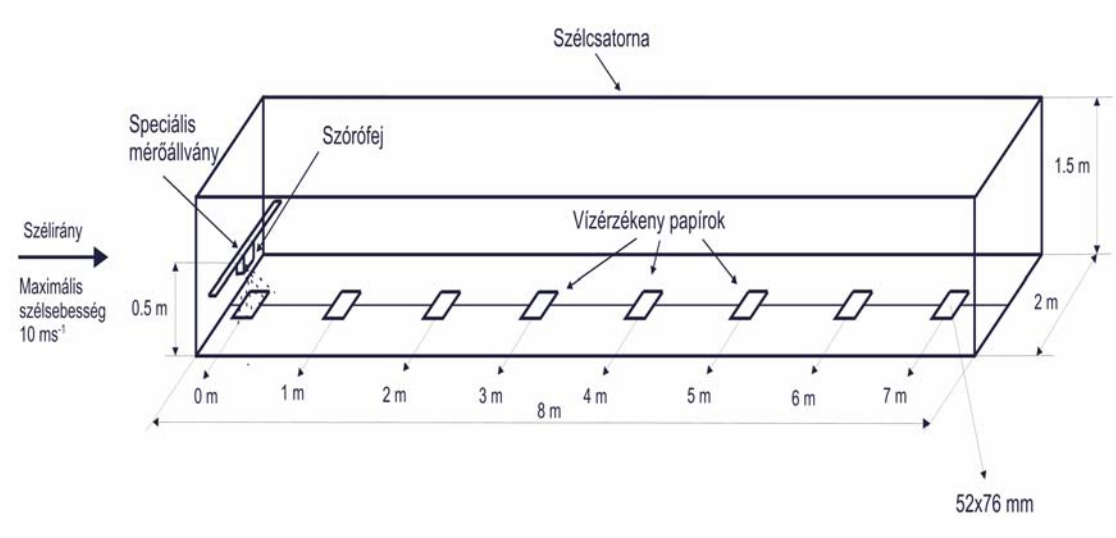
**: Ld. a 4. sz. táblázat alatt.

A determinált paraméterek meghatározását, rögzítését a cseppképzés-vizsgálatok kapcsán leírtakkal mindenben megegyezően valósítottam meg. A mért jellemzők a következő értékeket vették fel az elsodródás-vizsgálatok során: levegő hőmérséklete: 14,0-19,2 °C, relatív páratartalom 35-46 %, felhasznált folyadék hőmérséklete: 13,7-18,1 °C.

A vizsgálatok során a nyomás, valamint a rögzítési magasság értékeinek megválasztásakor, beállításakor, ellenőrzésekor pontosan a cseppképzés-vizsgálatokra vonatkozó alfejezetben leírtak szerint jártam el. A szélsebességet Testo 400 típusú, kalibrált, többfunkciós mérőeszköz (mérési tartomány: 0,4-60,0 m s^{-1}; mérési pontosság: ±0,2 %; felbontás: 0,1 m s^{-1}) segítségével 2,0, 4,0, illetve 6,0 m s^{-1} értékre állítottam be.

Az elsodródás-vizsgálatokat szintén az MGI gödöllői telephelyén, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépészmérnöki Kar Áramlástan Tanszékének munkatársai által kialakított és beüzemelt szélcsatornában végeztem el laboratóriumi körülmények között. A szélcsatornában kialakított mérési tér hossza 8 m, szélessége 2 m, magassága 1,5 m, az előállítható lamináris légáram maximális sebessége (max. szélsebesség) pedig 10,0 m s^{-1}.

A szélcsatornában elhelyezett speciális mérőállványon a vizsgálatokhoz segédeszközként szolgáló, a cseppképzés-vizsgálatoknál használttal azonos szórófejet úgy rögzítettem, hogy egyrészt a szórófejbe szerelt vizsgálandó réses fúvókák, illetve a TwinFluid szórófej által képzett permetlegyező a lamináris légáram irányával (tehát a szélcsatorna hosszirányú tengelyével) pontosan 90 ° szöget zárjon be, másrészt a réses fúvókák, ill. a TwinFluid szórófej kilépőnyílása pontosan a szélcsatorna padozatának hosszanti középvonala fölött helyezkedjen el. A mérési tér hosszirányú középvonalában a vizsgálati tárgyak alá, valamint azoktól 1, 2, 3, 4, 5, 6 és 7 m távolságban (mérési pontok) 1-1 darab 52 x 76 mm méretű vízérzékeny papírt, azaz összesen mérésenként 8 darabot, rögzítettem a padlón. A megadott három különböző szélsebesség mellett végeztem el a permetezéseket (a szórás időtartama minden esetben 10 másodperc volt), majd a teljesen megszáradt vízérzékeny papírokat (minták) összegyűjtöttem. Az alkalmazott vizsgálati elrendezést mutatja be a 31. sz. ábra.



31. sz. ábra:

Elsodródás-vizsgálatok szélcsatornában - illusztráció

(Forrás: a rajzot Bablena Adrienn, az MGI munkatársa készítette)

A megfelelő nagyítás érdekében sztereómikroszkóp (típus: Wild M7A, nagyítási tartomány: 6X-31X) közbeiktatásával digitális kamera (felbontás: 2260 dpi) segítségével a mintákat lefényképeztem, ezt követően elektronikus formátumban rögzítettem.

Ezután az egyes mintákhoz tartozó relatív fedettséget (a vízzel történő érintkezés hatására kék színt felvett és az eredeti sárga színű terület %-os arányát) National Instruments LabView v7.1 típusú adatgyűjtő-mérésvezérlő programhoz tartozó Vision Development képfeldolgozó modul segítségével határoztam meg. A réses fúvókák vonatkozásában szintén két különböző üzemi nyomáson fúvókánként, illetve a TwinFluid szórófej esetében szintén beállításonként háromszoros ismétlésben folytattam le a vizsgálatokat. Az eredményeket (kerekített átlagértékeket, illetve a szórást) numerikus és grafikus formátumban közöltem, illetve ábrázoltam.

Részletesen a teljes mérési tartományra vonatkozó összes relatív fedettséget (a 8 darab relatív fedettség érték összege) értékeltem és elemeztem, mert a keletkezett cseppek elsodródásának mértéke (mennyisége), tehát az élő- és élettelen környezetre gyakorolt hatás, ezzel a paraméterrel jól jellemezhető. Emellett - szintén környezetvédelmi vonatkozások miatt - a részecskék elsodródási távolságára is kiemelt figyelmet fordítottam.

A megválasztott és fentebb ismertetett mérési metodika és kiértékelési módszer segítségével konkrét mennyiségi adatok nem nyerhetőek, ugyanakkor más szerzők (Hill és Inaba 1989; Salyani és Fox, 1999; Degré et al., 2001; Fox et al., 2001; Panneton, 2002; Sánchez-Hermosilla és Medina, 2004; Thomson és Lyn, 2011; Gulyás et al., 2012; Sayinci et al., 2012) korábbi publikációkban közölt megállapításai szerint is alkalmas permetcseppek elsodródásának, a permetezés lehetséges környezeti hatásainak jellemzésére, a vizsgálati objektumok egyezőségének, illetve különbözőségének kimutatására összehasonlító vizsgálatok keretében.

3.3 Statisztikai elemzés

A vizsgálati eredmények statisztikai elemzését a négy különböző réses fúvóka, valamint a négyféle beállítás mellett működtetett TwinFluid szórófej vonatkozásában egyaránt Windows SPSS 14.0 szoftverrel (SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA) végeztem el.

A cseppképzés-, valamint a szélcsatornában elvégzett elsodródás-vizsgálatok statisztikai elemzés alá vont adatainak (a d_{v10} és a 100 μm-nél kisebb méretű cseppek aránya, valamint az összes relatív fedettség) eloszlását Kolmogorov-Szmirnov próbával (szignifikancia szint: $P > 0{,}05$), illetve a Q-Q-ábrák szemrevételezésével vizsgáltam.

A cseppképzés-vizsgálatok eredményei közötti különbségeket csoportonként a réses fúvókák vonatkozásában a fúvókák és az üzemi nyomás, a TwinFluid szórófej esetében a beállítások, az elsodródás-vizsgálatok adatainak különbözőségét pedig - a felsoroltak mellet - a szélsebesség függvényében ANOVA segítségével határoztam meg.

Duncan és Scheffe Post Hoc Test-et használtam a fúvókák, illetve a beállítások adatainak páronként történő összehasonlításához.

4. EREDMÉNYEK

Az elvégzett statisztikai elemzéseim adatai tükrében a cseppképzés-vizsgálatok keretében vizsgált d_{v10} és a 100 µm-nél kisebb méretű cseppek százalékos aránya, valamint az elsodródás-vizsgálatok során rögzített összes relatív fedettség vonatkozásában kapott eredmények egyetlen esetben sem (sem a réses fúvókák, sem a TwinFluid szórófej vonatkozásában) tértek el a normális eloszlástól. A konfidencia intervallum minden egyes statisztikai próba vonatkozásában $\alpha = 0{,}05$ volt.

4.1 TeeJet gyártmányú TP11004VP, DG11004VS, AIXR11004VP és AI11004VS réses fúvókák vizsgálata

4.1.1 Cseppképzés-vizsgálatok

A négy réses fúvóka vizsgálata keretében alkalmazott üzemi nyomásértékeket, valamint a méréssel meghatározott cseppképzési jellemzőket a 8. sz. táblázatban mutattam be.

8. sz. táblázat: A TP11004VP, a DG11004VS, az AIXR11004VP és az AI11004VS réses fúvókák által képzett cseppek méréssel meghatározott jellemzői az üzemi nyomás függvényében

Fúvóka pontos megnevezése	Üzemi nyomás (bar)	d_{v10} (µm)	d_{v50} (µm)	d_{v90} (µm)	< 100 µm cseppek aránya (%)
TP11004VP	3,0	55,7 ± 2,8	133,2 ± 7,8	231,1 ± 15,6	34,6 ± 3,3
DG11004VS		93,3 ± 3,9	211,0 ± 2,7	376,1 ± 1,6	13,0 ± 1,1
AIXR11004VP		117,1 ± 4,1	308,0 ± 16,7	643,1 ± 50,6	8,3 ± 0,5
AI11004VS		120,0 ± 4,5	329,0 ± 7,8	711,0 ± 9,4	8,0 ± 0,6
TP11004VP	4,0	50,2 ± 1,1	127,3 ± 6,6	230,1 ± 16,2	38,2 ± 2,8
DG11004VS		83,3 ± 6,5	195,5 ± 15,7	335,4 ± 30,7	16,8 ± 2,6
AIXR11004VP		100,0 ± 3,2	208,6 ± 10,0	331,0 ± 34,4	11,3 ± 0,6
AI11004VS		101,6 ± 2,3	269,4 ± 8,6	490,5 ± 37,7	10,8 ± 0,5

3,0 bar üzemi nyomáson a d_{v10} 55,7 ± 2,8 µm – 120,0 ± 4,5 µm között, 4,0 bar üzemi nyomás mellett pedig 50,2 ± 1,1 µm – 101,6 ± 2,3 µm tartományban változott a fúvókák függvényében (8. sz. táblázat).

A négy réses fúvóka statisztikai módszerekkel csoportonként történt összehasonlítása alapján a fúvókák között mindkét vizsgálati nyomás mellett szignifikáns különbség volt a dv_{10}-ben (3,0 bar: $F_{3,8}$=175,969, P<0,001; 4,0 bar: $F_{3,8}$=118,073, P<0,001).

A páronkénti összevetés alapján az AIXR11004VP és az AI11004VS fúvókák által képzett cseppekre jellemző d_{v10}-ben egyik nyomáson sem volt szignifikáns differencia (P>0,05). A további fúvóka-párok (TP11004VP és DG11004VS, TP11004VP és AIXR11004VP, TP11004VP és AI11004VS, DG11004VS és AIXR11004VP, DG11004VS és AI11004VS) esetében mindkét nyomás mellett szignifikáns mértékben különböző - dv_{10} értékkel jellemzett - cseppek keletkeztek (P<0,05).

A 8. sz. számú táblázatban látható továbbá, hogy 3,0 bar nyomásnál a 100 µm-nél kisebb méretű cseppek aránya vonatkozásában 34,6 ± 3,3 % - 8,0 ± 0,6 %; 4,0 bar nyomás mellett pedig 38,2 ± 2,8 % - 10,8 ± 0,5 % tartományba eső értékeket rögzítettem.

A fúvókák csoportonkénti összehasonlítása alapján a fúvókák között mindkét nyomás mellett szignifikáns differencia volt a 100 µm-nél kisebb méretű cseppek arányában is (3,0 bar: $F_{3,8}$=151,962, P<0,001; 4,0 bar: $F_{3,8}$=134,707, P<0,001).

A páronként történt összehasonlítás szintén a d_{v10} értékek összevetése során kapott eredményekkel megegyező adatokat szolgáltatott. Az AIXR11004VP és az AI11004VS fúvókák között egyik nyomásnál sem volt szignifikáns különbség a 100 µm-nél kisebb cseppek előfordulási gyakoriságában (P>0,05). A többi fúvóka-pár összehasonlítása 3,0 és 4,0 bar üzemi nyomáson egyaránt szignifikáns differenciát eredményezett a 100 µm-nél kisebb cseppek arányában is (P<0,05).

4.1.2 Elsodródás-vizsgálatok szélcsatornában

Az eltérő szélsebességek és különböző üzemi nyomások mellett elvégzett vizsgálatok eredményei a 32-37. sz. ábrákon láthatóak.

A szórófej alatt mindhárom szélsebesség és az összes fúvóka esetében mindkét üzemi nyomás mellett minden ismétlés vonatkozásában 100 % relatív fedettséget határoztam meg.

A 2,0 m s^{-1} szélsebesség és 3,0, illetve 4,0 bar üzemi nyomás mellett kapott eredményeket a 32. sz. és a 33. sz. ábra szemlélteti.

A 32. sz. és a 33. sz. ábrán látható, hogy 2,0 m s^{-1} szélsebesség esetében 3,0 és 4,0 bar üzemi nyomás mellett mind a négy réses fúvóka vonatkozásában egyaránt a szórófejtől 2 m távolságig volt kimutatható mértékű (≥ 1 %) relatív fedettség.

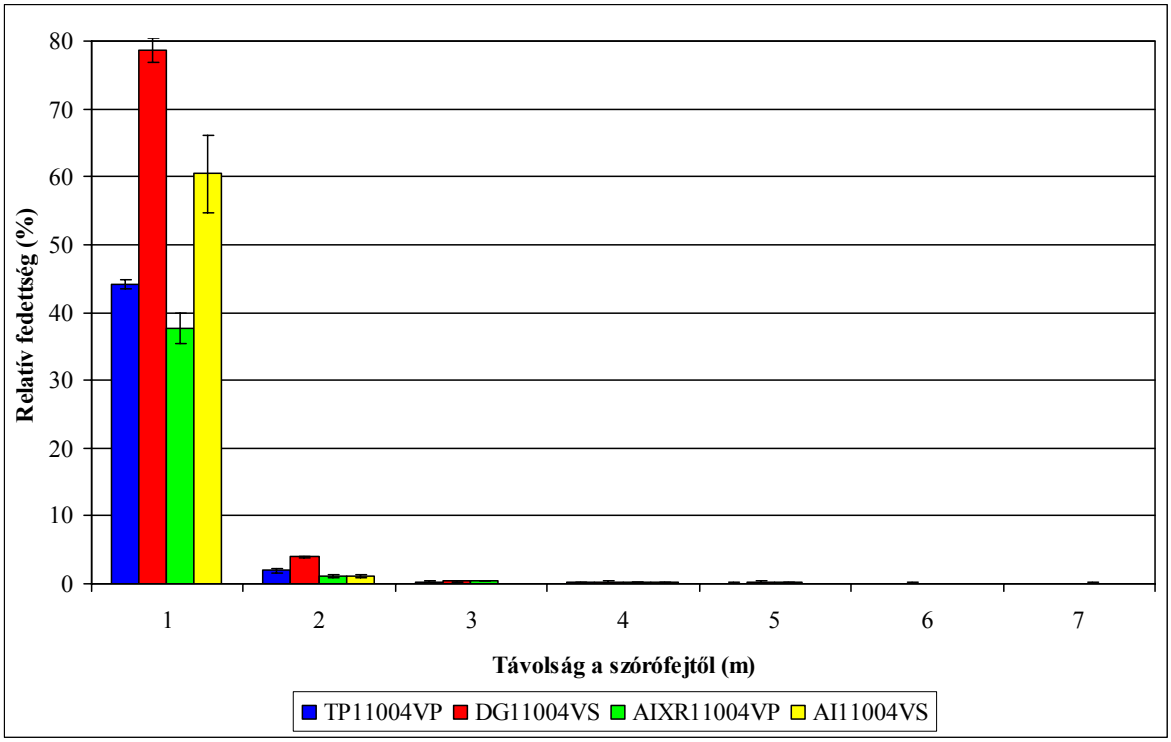
3,0 bar üzemi nyomáson a TP típusú fúvókánál 2 %, a DG-nél 4 %, az AIXR és az AI fúvóka esetében pedig 1-1 % relatív fedettséget rögzítettem a nevezett távolságban.

4,0 bar üzemi nyomás mellett 2 m távolságban a fúvókák fenti sorrendjének megfelelően a következő értékeket határoztam meg: 5 %, 3 %, 2 %, 1%.

A 4,0 m s^{-1} szélsebességnél rögzített eredményeket a 34. sz. és a 35. sz. ábra mutatja be.

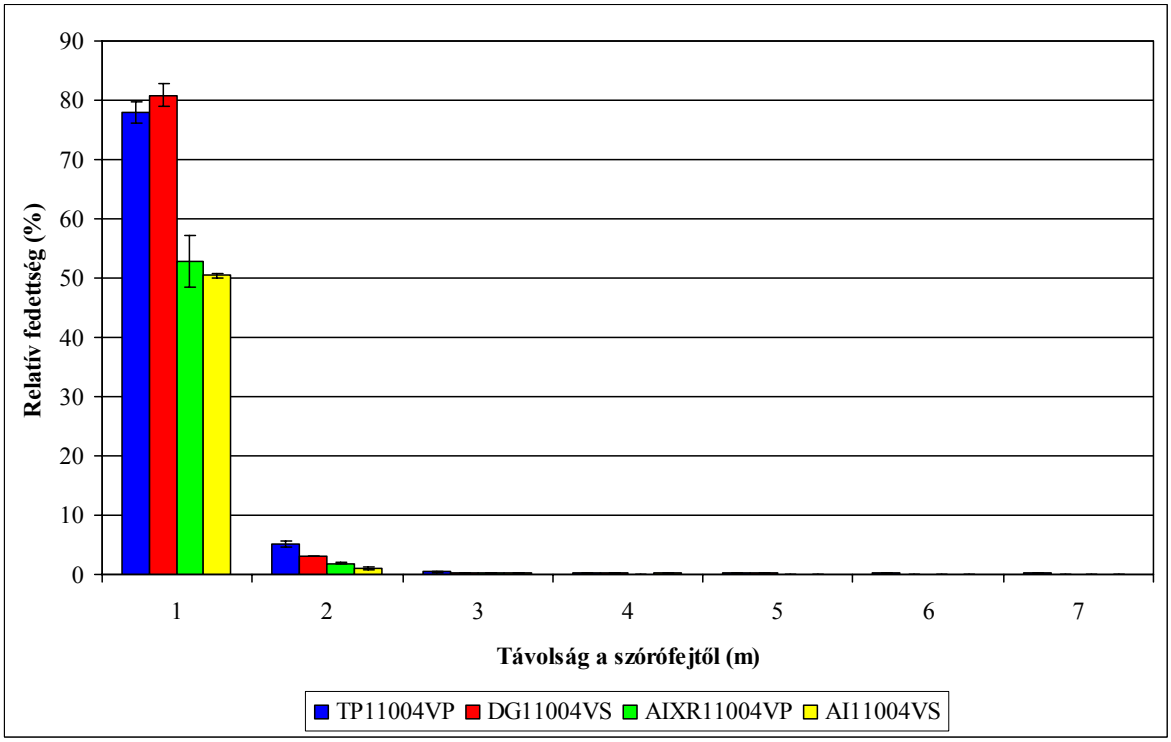
A 34. sz. ábrán látható, hogy 4,0 m s^{-1} szélsebességnél 3,0 bar nyomás mellett a TP fúvóka esetében a szórófejtől mért 7 m távolságban (méréshatár) 1 % relatív fedettséget regisztráltam. A DG fúvóka vonatkozásában 6 m, az AIXR és az AI típusoknál pedig 4-4 m távolságig adódott azonos mértékű fedettség.

4,0 bar nyomáson (35. sz. ábra) a TP és a DG fúvóka vonatkozásában az alacsonyabb üzemi nyomás mellett kapott eredményekhez képest nem tapasztaltam változást a kimutatható mértékű relatív fedettség és a szórófejtől mért távolság összefüggésének tekintetében. Az AIXR és az AI típusok esetében ugyanakkor 5 m távolságban rögzítettem 1-1 % fedettséget.



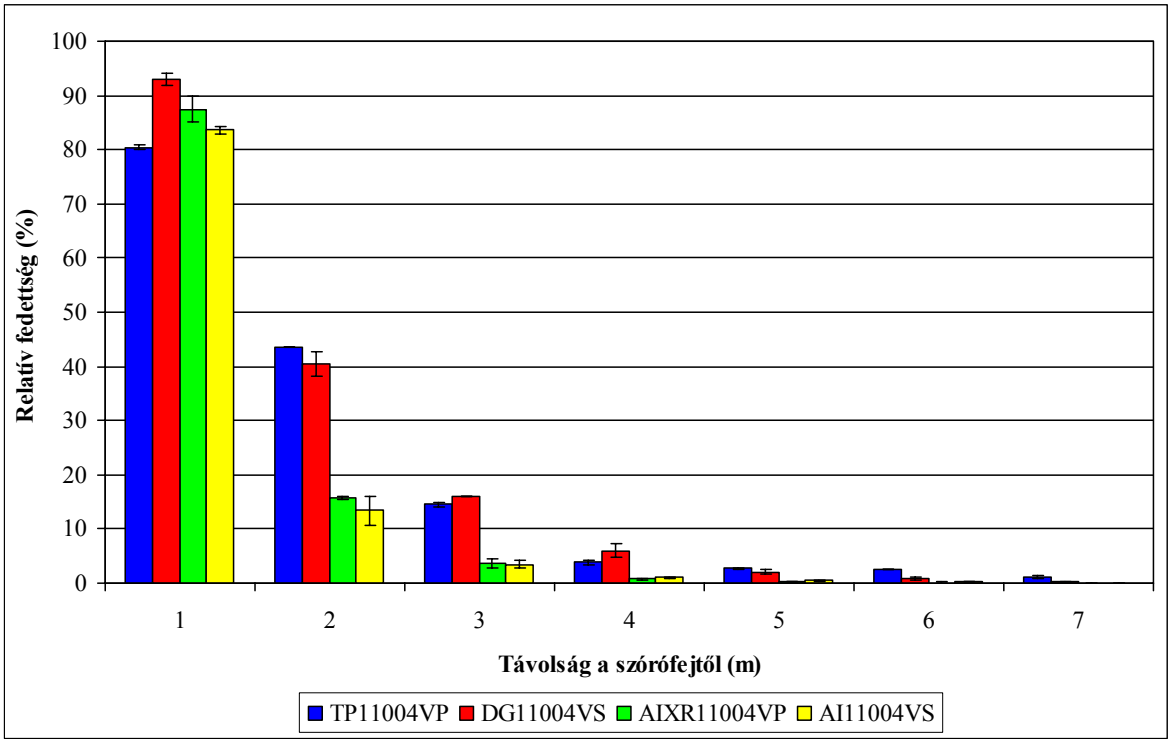
32. sz. ábra:

A TP11004VP, a DG11004VS, az AIXR11004VP és az AI11004VS réses fúvókák által képzett cseppek elsodródása szélcsatornában 2,0 m s^{-1} szélsebesség és 3,0 bar üzemi nyomás mellett



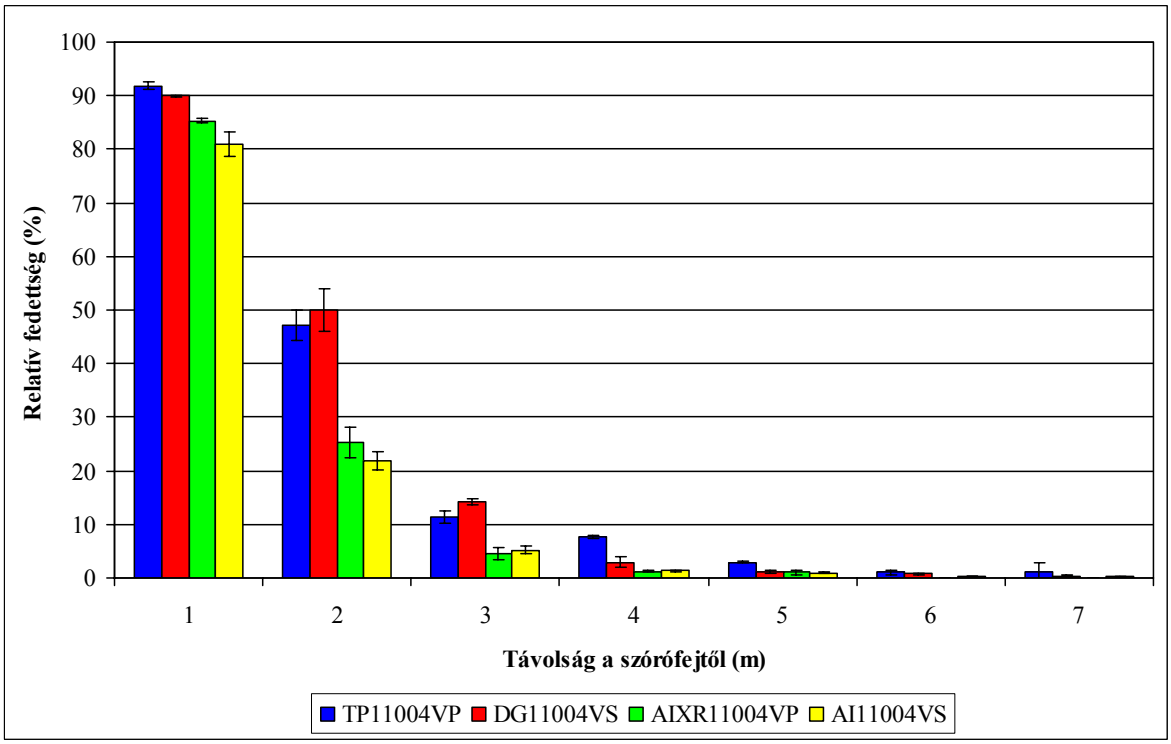
33. sz. ábra:

A TP11004VP, a DG11004VS, az AIXR11004VP és az AI11004VS réses fúvókák által képzett cseppek elsodródása szélcsatornában 2,0 m s^{-1} szélsebesség és 4,0 bar üzemi nyomás mellett



34. sz. ábra:

A TP11004VP, a DG11004VS, az AIXR11004VP és az AI11004VS réses fúvókák által képzett részecskék elsodródása szélcsatornában 4,0 m s^{-1} szélsebességnél és 3,0 bar üzemi nyomáson



35. sz. ábra:

A TP11004VP, a DG11004VS, az AIXR11004VP és az AI11004VS réses fúvókák által képzett részecskék elsodródása szélcsatornában 4,0 m s^{-1} szélsebességnél és 4,0 bar üzemi nyomáson

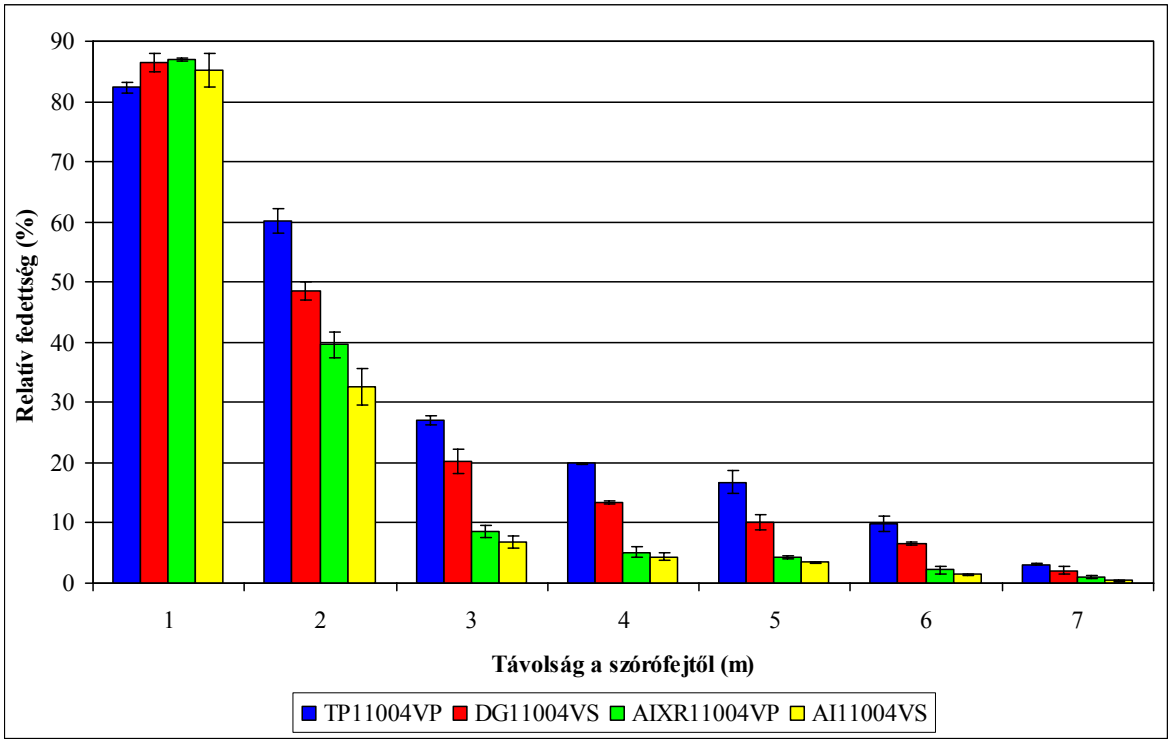
A 6,0 m s^{-1} szélsebesség esetében meghatározott adatokat a 36. sz. és a 37. sz. ábra demonstrálja.

A 36. sz. ábrán látható, hogy 6,0 m s^{-1} szélsebesség és 3,0 bar nyomás mellett az AI fúvóka kivételével minden fúvóka esetében kimutatható mértékű relatív fedettséget határoztam meg a méréshatáron (TP: 3 %, DG: 2 %, AIXR: 1 %). Az AI fúvóka vonatkozásában 6 m távolságig adódott ≥ 1 % fedettség.

4,0 bar nyomáson (37. sz. ábra) a TP fúvóka vizsgálata 4 %, a DG és az AIXR fúvókáé a kisebb üzemi nyomásnál rögzített adatokkal azonos, az AI típusé pedig 1 % relatív fedettséget eredményezett 7 m távolságban.

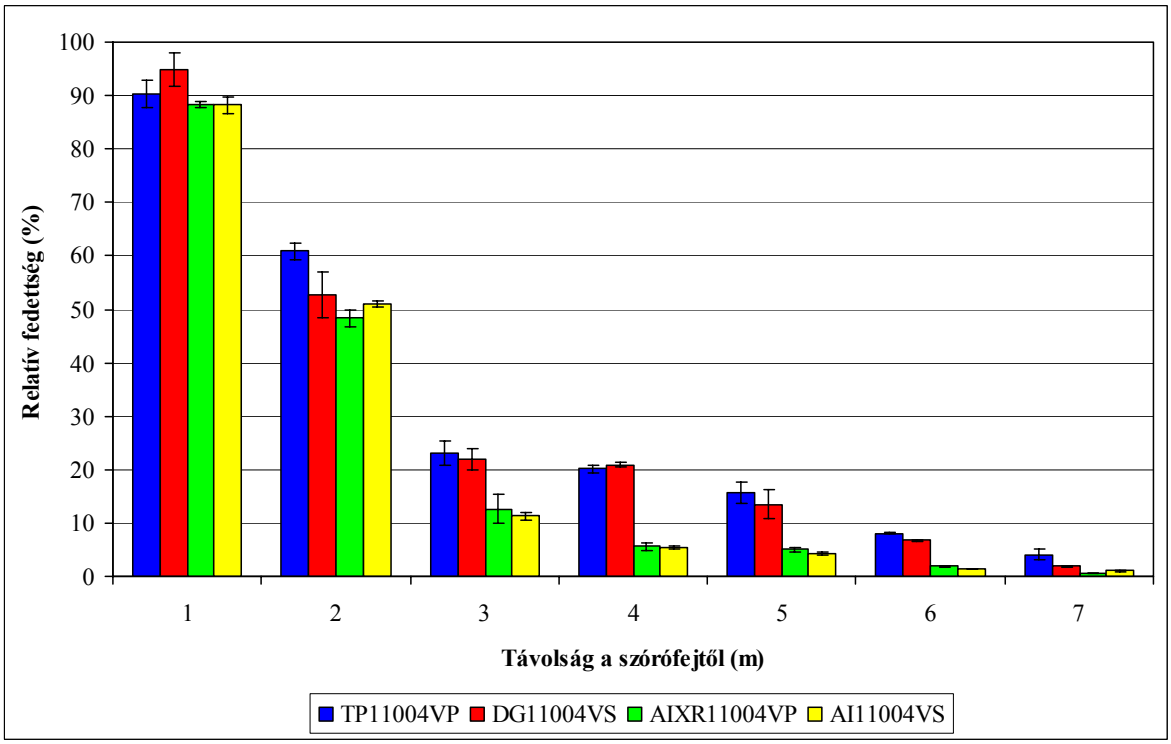
Az ábrákról leolvasható továbbá, hogy a 2,0 és a 4,0 m s^{-1} szélsebesség mellett kapott eredményekhez viszonyítva az egyes mérési pontokon meghatározott értékek mindkét üzemi nyomás vonatkozásában jelentős mértékben emelkedtek az összes vizsgált réses fúvóka esetében.

A teljes mérési tartományra vonatkozó összes relatív fedettség tekintetében a fúvókák, az üzemi nyomás, valamint a szélsebesség függvényében kapott eredményeket a 9. sz. táblázatban közöltem.



36. sz. ábra:

A TP11004VP, a DG11004VS, az AIXR11004VP és az AI11004VS réses fúvókák által képzett permetcseppek elsodródása szélcsatornában 6,0 m s^{-1} szélsebesség és 3,0 bar üzemi nyomás mellett



37. sz. ábra:

A TP11004VP, a DG11004VS, az AIXR11004VP és az AI11004VS réses fúvókák által képzett permetcseppek elsodródása szélcsatornában 6,0 m s^{-1} szélsebesség és 4,0 bar üzemi nyomás mellett

9. sz. táblázat: A TP11004VP, a DG11004VS, az AIXR11004VP és az AI11004VS réses fúvókák által képzett cseppek elsodródása szélcsatornában az üzemi nyomás és a szélsebesség függvényében

Fúvóka pontos megnevezése	Üzemi nyomás (bar)	Összes relatív fedettség (%)		
		Szélsebesség ($m\ s^{-1}$)		
		2,0	4,0	6,0
TP11004VP	3,0	147,0 ± 0,6	249,0 ± 0,4	319,0 ± 5,7
DG11004VS		184,0 ± 2,5	259,0 ± 1,5	288,0 ± 0,7
AIXR11004VP		140,0 ± 1,9	208,0 ± 3,1	248,0 ± 5,4
AI11004VS		162,0 ± 6,0	202,0 ± 2,4	234,0 ± 6,1
TP11004VP	4,0	184,0 ± 1,4	263,0 ± 3,6	322,0 ± 6,6
DG11004VS		184,0 ± 2,0	259,0 ± 5,0	312,0 ± 9,3
AIXR11004VP		155,0 ± 4,3	218,0 ± 3,9	262,0 ± 2,9
AI11004VS		152,0 ± 0,2	211,0 ± 2,3	263,0 ± 0,5

A 9. sz. táblázatban látható, hogy 3,0 bar üzemi nyomáson az összes relatív fedettség értékei 2,0 $m\ s^{-1}$ szélsebesség mellett 140,0 ± 1,9 % - 184,0 ± 2,5 % közé, 4,0 $m\ s^{-1}$-nál 202,0 ± 2,4 % - 259,0 ± 1,5 % tartományba estek, 6,0 $m\ s^{-1}$ szélsebességnél pedig 234,0 ± 6,1 % - 319,0 ± 5,7 % között változtak a fúvókák függvényében.

4,0 bar üzemi nyomás mellett pedig a következő intervallumokban rögzítettem adatokat a szélsebességtől és a fúvókáktól függően: 2,0 $m\ s^{-1}$: 152,0 ± 0,2 % - 184,0 ± 2,0 %, 4,0 $m\ s^{-1}$: 211,0 ± 2,3 % - 263,0 ± 3,6 %, 6,0 $m\ s^{-1}$: 262,0 ± 2,9 % - 322,0 ± 6,6 % (9. sz. táblázat).

A négy réses fúvóka 3,0 bar üzemi nyomásnál kapott eredményeinek statisztikai elemzés keretében csoportonként történt összehasonlítása mindhárom szélsebesség esetében szignifikáns különbséget mutatott a fúvókák között az összes relatív fedettségben (2,0 $m\ s^{-1}$: $F_{3,8}$=89,808, P<0,001; 4,0 $m\ s^{-1}$: $F_{3,8}$=411,178, P<0,001, 6,0 $m\ s^{-1}$: $F_{3,8}$=139,984, P<0,001).

A páronkénti összevetés alapján 3,0 bar üzemi nyomás és 2,0 $m\ s^{-1}$ szélsebesség esetében mind a négy réses fúvóka szignifikáns mértékben eltérő összes relatív fedettséget produkált (P<0,05). Ugyanezen az üzemi nyomáson a magasabb szélsebességek (4,0 $m\ s^{-1}$ és 6,0 $m\ s^{-1}$) mellett ugyanakkor nem volt szignifikáns differencia az AIXR11004VP és az AI11004VS fúvókák között a képzett cseppek - összes relatív fedettséggel jellemzett - elsodródásának mértékében

(P>0,05). A többi fúvóka-pár (TP11004VP és DG11004VS, TP11004VP és AIXR11004VP, TP11004VP és AI11004VS, DG11004VS és AIXR11004VP, DG11004VS és AI11004VS) az erősebb szélsebességek esetében is szignifikánsan különböző összes relatív fedettséggel volt jellemezhető (P<0,05).

A 4,0 bar üzemi nyomás mellett elvégzett vizsgálatok adatainak elemzése alapján csoportonként szintén szignifikáns differencia volt a fúvókák között a nevezett paraméter tekintetében (2,0 m s^{-1}: $F_{3,8}$=157,827, P<0,001; 4,0 m s^{-1}: $F_{3,8}$=152,147, P<0,001, 6,0 m s^{-1}: $F_{3,8}$=87,699, P<0,001).

A 4,0 bar üzemi nyomáson kapott adatok páronként történt összehasonlítása mindhárom szélsebesség mellett azonos eredménnyel szolgált. A TP11004VP és a DG11004VS, valamint az AIXR11004VP és az AI11004VS párok által képzett cseppek - összes relatív fedettséggel jellemzett - elsodródásának mértékében nem volt szignifikáns differencia (P>0,05). A további fúvóka-párok vonatkozásában szignifikáns mértékben különböző összes relatív fedettséget határoztam meg (P<0,05).

4.2 A TwinFluid 042/TK-SS10 típusú szórófej vizsgálata

4.2.1 Cseppképzés-vizsgálatok

A TwinFluid 042/TK-SS10 típusú szórófej vizsgálati beállításai, továbbá a méréssel meghatározott cseppképzési paraméterek a 10. sz. táblázatban láthatóak.

10. sz. táblázat: A TwinFluid 042/TK-SS10 szórófej méréssel meghatározott cseppképzési jellemzői a beállítás függvényében

Beállítás sor- és azonosító száma	Folyadék nyomása (bar)	Levegő nyomása (bar)	d_{v10} (µm)	d_{v50} (µm)	d_{v90} (µm)	< 100 µm cseppek aránya (%)
1.	2,00	1,25	63,1 ± 3,4	161,3 ± 4,3	289,6 ± 22,5	25,7 ± 0,9
2.	2,50	1,25	59,5 ± 5,4	176,1 ± 10,3	351,6 ± 14,6	25,1 ± 2,8
3.	1,50	0,75	86,3 ± 9,4	256,1 ± 6,1	509,8 ± 18,1	13,9 ± 2,0
4.	1,50	0,50	97,4 ± 11,6	288,9 ± 28,0	564,6 ± 40,3	11,6 ± 2,1

A 10. sz. táblázatból kiolvasható, hogy a dv_{10} 63,1 ± 3,4 µm – 97,4 ± 11,6 µm közötti értékeket vett fel a beállítások függvényében.

A négyféle beállítás statisztikai elemzés keretében történt csoportonkénti összehasonlítása alapján minden beállítás között szignifikáns különbség volt a d_{v10}-ben ($F_{3,8}$=15,113, $P \leq 0{,}001$).

A páronkénti összevetés az 1. és a 2., továbbá a 3. és a 4. beállítás mellett képzett cseppekre jellemző d_{v10} tekintetében nem mutatott ki szignifikáns differenciát (P>0,05). A további beállítás-párok (1. és 3., 1. és 4., 2. és 3., 2. és 4.) vonatkozásában szignifikáns mértékben eltérő dv_{10} értékeket kaptam (P<0,05).

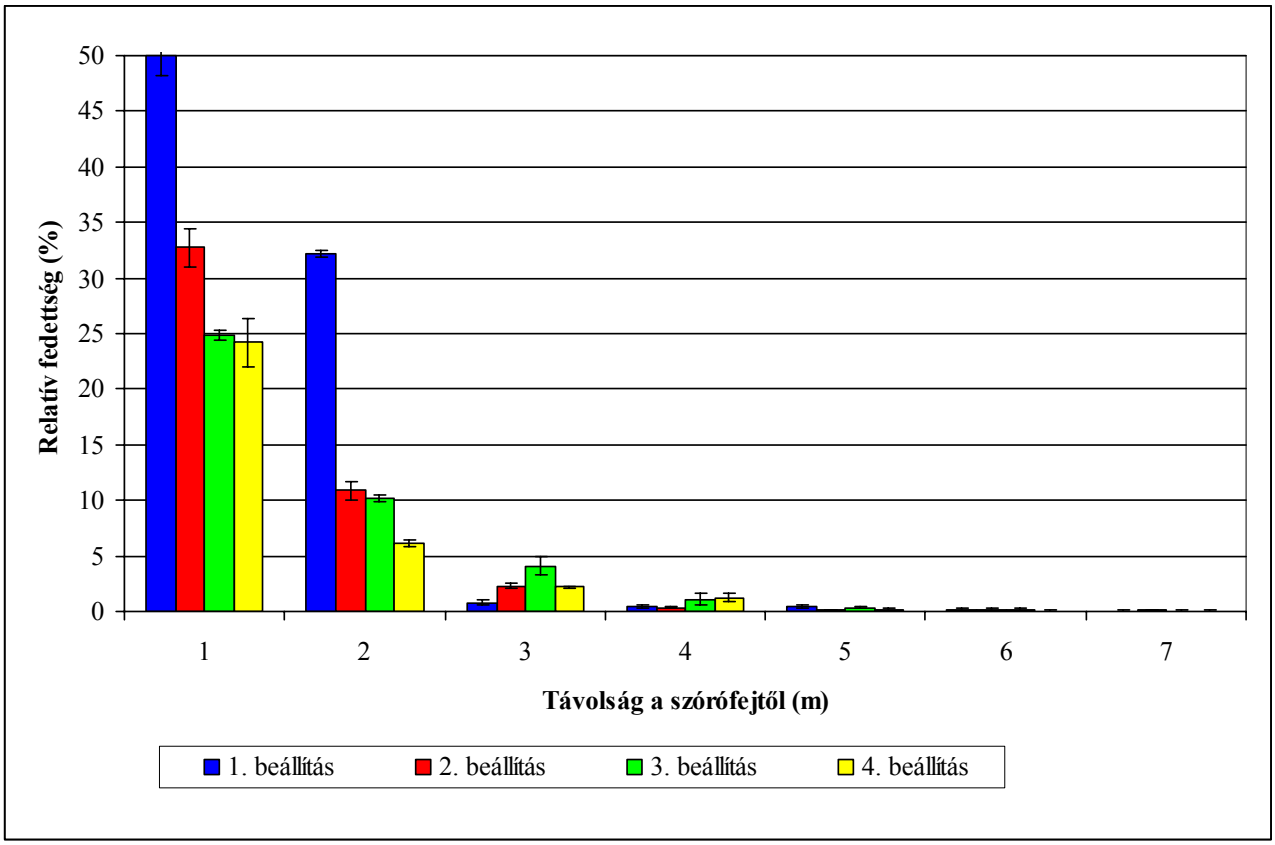
A 100 µm-nél kisebb cseppek előfordulási gyakorisága vonatkozásában 11,6 ± 2,1 % - 25,7 ± 0,9 % közötti értékeket rögzítettem a beállításoktól függően (10. sz. táblázat).

A beállítások csoportonként történt összehasonlítása alapján minden egyes beállítás között szignifikáns differencia volt a 100 µm-nél kisebb méretű cseppek arányában is ($F_{3,8}$=37,966, P<0,001).

A páronkénti összehasonlítás keretében szintén a d_{v10} értékek összevetése során kapott eredményekkel megegyező adatokhoz jutottam. Az 1. és a 2., továbbá a 3. és a 4. beállítások között nem volt szignifikáns különbség az előfordulási gyakoriságban (P>0,05). A többi beállítás-pár összevetése ugyanakkor szignifikáns differenciát eredményezett a 100 µm-nél kisebb cseppek arányában is (P<0,05).

4.2.2 Elsodródás-vizsgálatok szélcsatornában

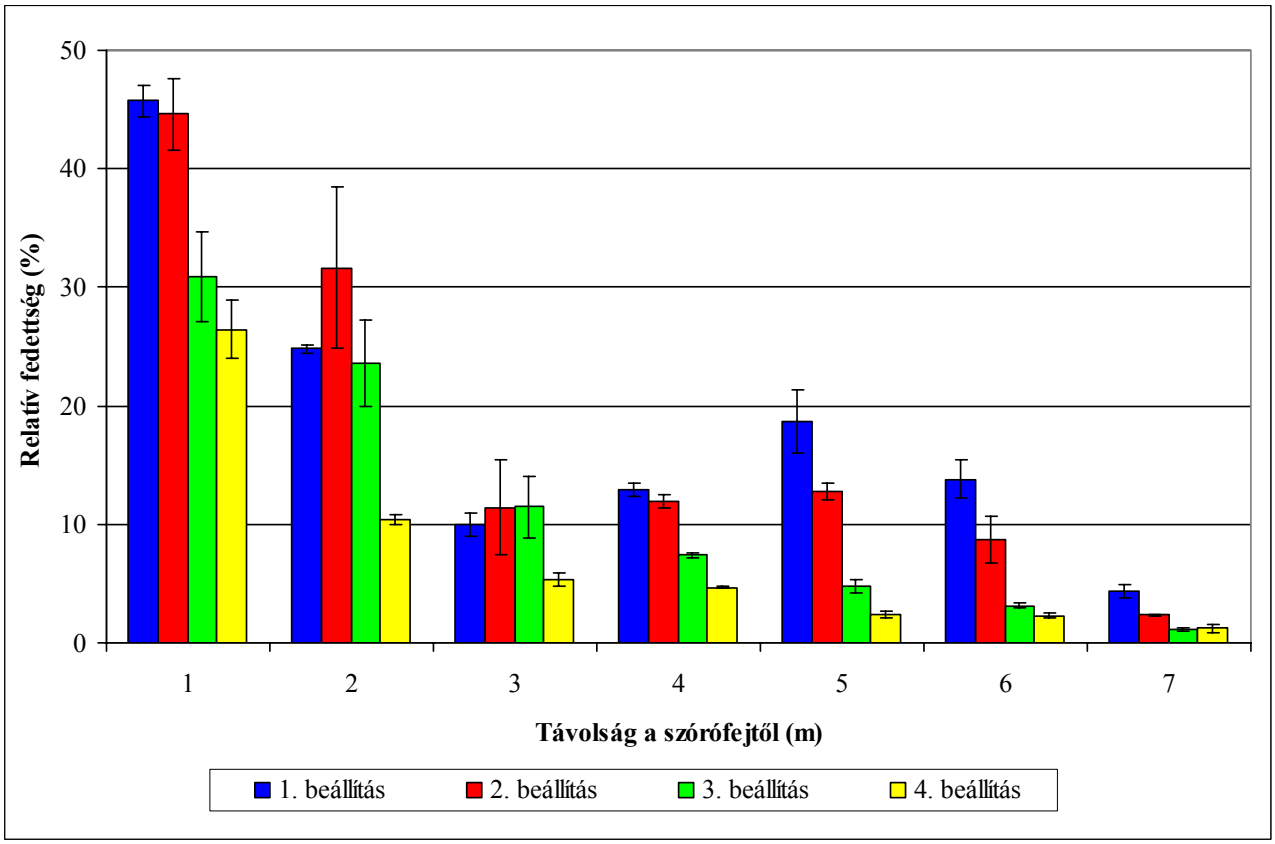
A különböző szélsebességek mellett elvégzett vizsgálatok eredményeit a 38-40. sz. ábrák demonstrálják. A szórófej alatt mindhárom szélsebesség és az összes alkalmazott beállítás vonatkozásában minden ismétlés esetében 100 % relatív fedettséget határoztam meg.



38. sz. ábra:

A TwinFluid 042/TK-SS10 szórófej által képzett cseppek elsodródása szélcsatornában 2,0 m s^{-1} szélsebesség mellett

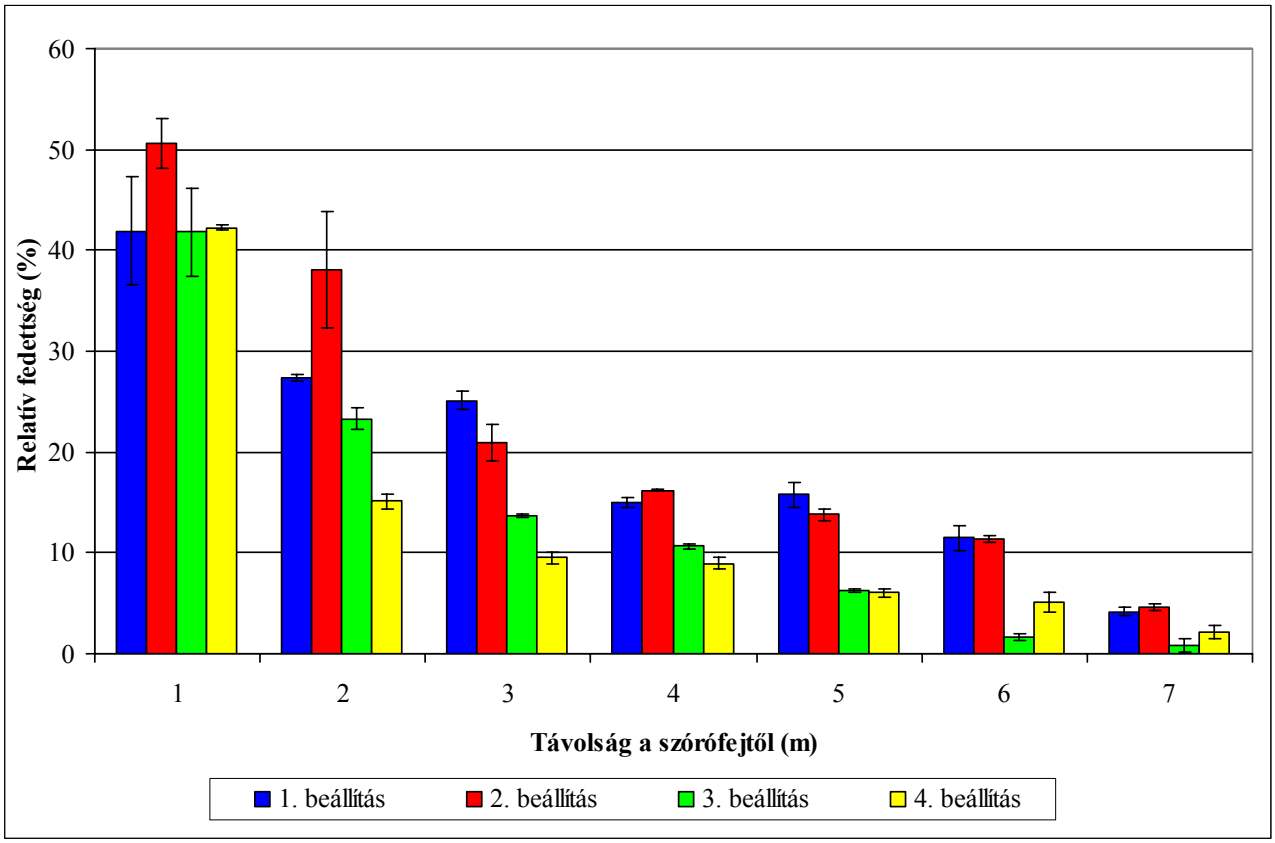
A 38. sz. ábra alapján megállapítható, hogy 2,0 m s^{-1} szélsebesség mellett az 1. beállítás (folyadék nyomása: 2,00 bar, levegő nyomása: 1,25 bar) és a 2. beállítás (2,50 bar, 1,25 bar) esetében a szórófejtől mért 3 m távolságig rögzítettem kimutatható mértékű relatív fedettséget. Az 1. beállításnál 1 %, a 2.-nál pedig 2 % relatív fedettséget regisztráltam a nevezett távolságban. A 3. (1,50 bar, 0,75 bar) és a 4. (1,50 bar, 0,50 bar) beállítás vonatkozásában a fenti megkötésnek megfelelő távolság 4 m volt. Ebben a távolságban mindkét beállításnál 1 % relatív fedettséget határoztam meg.



39. sz. ábra:

A TwinFluid 042/TK-SS10 szórófej által képzett részecskék elsodródása szélcsatornában 4,0 m s^{-1} szélsebességnél

A 39. sz. ábrán látható, hogy 4,0 m s^{-1} szélsebességnél mind a négy beállítás esetében ≥ 1 % mértékű relatív fedettséget rögzítettem a szórófejtől számított 7 m távolságban. Az 1. és a 2. beállítás mellett 4 %, illetve 2 %, a 3. és a 4. beállítás vonatkozásában pedig 1-1 % volt a kimutatott érték a méréshatáron. Az alacsonyabb szélsebességnél a kimutatható mértékű fedettséggel összefüggésben említett 3 és 4 m távolságokban az 1. beállítás esetében 10 % és 13 %, a 2.-nál 11 % és 12 %, a 3. vonatkozásában 11 % és 7 %, a 4. beállításnál pedig mindkét nevezett távolságban 5 % relatív fedettséget határoztam meg.



40. sz. ábra:

A TwinFluid 042/TK-SS10 szórófej által létrehozott permetcseppek elsodródása szélcsatornában 6,0 m s^{-1} szélsebesség mellett

A 40. sz. ábra azt mutatja, hogy 6,0 m s^{-1} szélsebesség esetén a méréshatáron a beállítások sorrendjében 4 %, 5 %, 1 % és 2 % volt a regisztrált érték, az 1-7 m tartományban található mérési pontokon meghatározott relatív fedettség pedig tovább növekedett.

A teljes mérési tartományra vonatkozó összes relatív fedettség tekintetében a három különböző szélsebesség mellett a beállítások függvényében rögzített adatokat a 11. sz. táblázat tartalmazza.

11. sz. táblázat: A különböző beállítások mellett üzemeltetett TwinFluid 042/TK-SS10 szórófej által képzett cseppek elsodródása szélcsatornában a szélsebesség függvényében

Beállítás sor- és azonosító száma	Folyadék nyomása (bar)	Levegő nyomása (bar)	Összes relatív fedettség (%)		
			Szélsebesség ($m\ s^{-1}$)		
			2,0	4,0	6,0
1.	2,00	1,25	184,0 ± 1,9	230,0 ± 2,2	241,0 ± 6,3
2.	2,50	1,25	147,0 ± 0,7	223,0 ± 4,5	256,0 ± 9,0
3.	1,50	0,75	141,0 ± 1,1	182,0 ± 2,7	198,0 ± 4,4
4.	1,50	0,50	134,0 ± 1,5	153,0 ± 3,1	189,0 ± 0,9

Az összes relatív fedettség értéke 2,0 $m\ s^{-1}$ szélsebesség mellett 134,0 ± 1,5 % - 184,0 ± 1,9 % között, 4,0 $m\ s^{-1}$-nál 153,0 ± 3,1 % - 230,0 ± 2,2 % tartományban, 6,0 $m\ s^{-1}$ szélsebesség esetében pedig 189,0 ± 0,9 % - 256,0 ± 9,0 % között változott a beállítások függvényében (11. sz. táblázat).

A négyféle beállítás csoportonkénti összehasonlítása azt mutatta, hogy mindhárom szélsebesség vonatkozásában szignifikáns differencia volt az egyes beállítások között az összes relatív fedettségben (2,0 $m\ s^{-1}$: $F_{3,8}$=800,409, P<0,001; 4,0 $m\ s^{-1}$: $F_{3,8}$=1113,007, P<0,001; 6,0 $m\ s^{-1}$: $F_{3,8}$=1170,545, P<0,001).

A páronként történt összevetés alapján 2,0 $m\ s^{-1}$ szélsebesség mellett mind a négy beállítás szignifikáns mértékben különböző összes relatív fedettséggel volt jellemezhető (P<0,05). 4,0 $m\ s^{-1}$ és 6,0 $m\ s^{-1}$ szélsebesség esetében azonban az 1. és a 2. beállítás között nem volt kimutatható szignifikáns különbség a keletkezett részecskék - a vizsgált paraméterrel karakterizált - elsodródásának mértékében (P>0,05). A többi beállítás-pár között a nagyobb szélsebességek mellett is szignifikáns differencia volt az összes relatív fedettségben (P<0,05).

4.3 Új tudományos eredmények (tézisek)

- (1. tézis): A TeeJet AIXR11004VP és a TeeJet AI11004VS megnevezésű fúvókák cseppképzés-vizsgálatának eredményei alapján megállapítom, hogy a légbeszívásos réses fúvókák között 3,0 és 4,0 bar üzemi nyomáson nincs szignifikáns differencia a képzett cseppek térfogat szerinti 10 %-os cseppátmérőjében, és a 100 µm-nél kisebb méretű cseppek előfordulási gyakoriságában.

- (2. tézis): A TeeJet TP11004VP, a TeeJet DG11004VS, a TeeJet AIXR11004VP és a TeeJet AI11004VS megnevezésű fúvókák szélcsatornában végzett elsodródás-vizsgálatának eredményei alapján megállapítom, hogy a hagyományos, az elsodródás ellen védő, és a légbeszívásos réses fúvókák használata során az üzemi nyomás 4,0 bar-ról 3,0 bar-ra való csökkentésével mérsékelhető az elsodródott, a környezeti elemeket terhelő permetlé mennyisége, és redukálható az elsodródás szennyezőforráshoz viszonyított távolsága.

- (3. tézis): A TeeJet TP11004VP hagyományos-, és a TeeJet DG11004VS elsodródás ellen védő réses fúvókák között 4,0 bar üzemi nyomás és 2,0 m s^{-1}, 4,0 m s^{-1}, illetve 6,0 m s^{-1} szélsebesség mellett nincs szignifikáns differencia a képzett cseppek szélcsatornában való elsodródásának mértékében.

- (4. tézis): A TeeJet AIXR11004VP és a TeeJet AI11004VS típusú fúvókák szélcsatornában végzett elsodródás-vizsgálatának eredményei alapján megállapítom, hogy a légbeszívásos réses fúvókák között 3,0 és 4,0 bar üzemi nyomás, valamint 4,0 és 6,0 m s^{-1} szélsebesség mellett nincs szignifikáns differencia a képzett cseppek elsodródásának mértékében, a használatukból fakadó környezetterhelő hatások tekintetében nincs kimutatható mértékű különbség.

- (5. tézis): A TwinFluid 042/TK-SS10 típusú szórófej cseppképzés-vizsgálatának eredményei alapján megállapítom, hogy az ütközőlapos fúvókával ellátott légbefúvásos szórófejeknél 1,25 bar levegőnyomás mellett a folyadéknyomás 2,00 - 2,50 bar között, továbbá 1,50 bar folyadéknyomás esetén a levegőnyomás 0,50 - 0, 75 bar tartományban történő változtatása hatására nem következik be szignifikáns mértékű változás a képzett cseppek térfogat szerinti 10 %-os cseppátmérőjében és a 100 µm-nél kisebb méretű cseppek előfordulási gyakoriságában.

- (6. tézis): A TwinFluid 042/TK-SS10 típusú szórófej szélcsatornában végzett elsodródás-vizsgálatának eredményei alapján megállapítom, hogy az ütközőlapos fúvókával ellátott TwinFluid rendszerű szórófejek alkalmazása során 1,25 bar levegőnyomás mellett a folyadéknyomás 2,00 bar - 2,50 bar tartományban történő változtatása 4,0 m s^{-1}, illetve 6,0 m s^{-1} szélsebesség esetében nem eredményez szignifikáns mértékű változást a képzett cseppek elsodródásának mértékében, ezáltal a környezetterhelő hatások nem befolyásolhatóak.

5. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A TeeJet gyártmányú TP11004VP (hagyományos), DG11004VS (elsodródás ellen védő), AIXR11004VP (légbeszívásos megnövelt hatósugarú) és AI11004VS (légbeszívásos) réses fúvókák méréssel meghatározott összes cseppképzési jellemzőjének (d_{v10}, d_{v50}, d_{v90} és a 100 µm-nél kisebb méretű cseppek százalékos aránya) tekintetében rögzített eredményeim együttes értékeléséből származtatott következtetésem tükrében alátámasztottam azt a több szerző (pl.: László, 1997; Csizmazia, 2006; Dimitrievits és Kovács, 2010) által publikált szakmai összefüggést, amely szerint az üzemi nyomás csökkentésének hatására a képzett cseppek mérete növekszik, a részecskék elsodródási hajlama mérséklődik. A következtetést az alapján vontam le, hogy 4,0 bar üzemi nyomás mellett a vizsgált három d_v értéke mind a négy réses fúvóka vonatkozásában alacsonyabb volt, a 100 µm-nél kisebb méretű cseppek előfordulási gyakorisága pedig az összes fúvóka esetében emelkedett a 3,0 bar üzemi nyomáson regisztrált adatokhoz viszonyítva.

Szélcsatornában végzett elsodródás-vizsgálataim összes adatából kiindulva (köztük egyik új tudományos eredményem alapján) pedig arra a következtetésre jutottam, hogy az alacsonyabb nyomáson keletkezett permetcseppek kisebb mennyiségben és kisebb távolságra sodródnak el. Ezt a konklúziót arra alapoztam, hogy a 4,0 m s^{-1} szélsebesség esetében rögzített összes relatív fedettség a DG típusú fúvókánál azonos, a másik három fúvóka vonatkozásában magasabb volt 4,0 bar-on, mint 3,0 bar-on, 6,0 m s^{-1}-nál pedig mindegyik fúvóka esetében nagyobb összes relatív fedettséget határoztam meg a nyomásnövelés következtében. Emellett a kijelölt mérési pontokon (a szórófej alatt lévő kivételével) meghatározott fedettség értéke és/vagy a ≥1 % mértékű borítottság távolsága a szórófejtől szintén növekedett a nyomásnövelés hatására.

A fenti eredmények és következtetések alapján 1. sz. hipotézisemet igaznak fogadtam el.

Gyakorlati szempontból hasznos javaslatként megfogalmazható, hogy a permetezések megkezdése előtt és a kezelések közben is (különösen, ha nincs szélcsend) fokozott figyelmet kell fordítani az üzemi nyomás helyes megválasztására és állandó értéken tartására, mert a nyomás a gépre szerelt fúvókák cseppképzését jelentős mértékben befolyásolja, ezért a munkaminőség és a hatékonyság, valamint a permetezés környezeti hatásai tekintetében egyaránt kiemelt szerepe van.

A négy cseppképzési jellemzőre vonatkozó vizsgálati eredmények együttesen arról is tanúskodtak, hogy összességében mindkét beállított nyomás mellett a TP típusú fúvóka képezte a legkisebb méretű cseppeket, a további típusok sorrendje pedig (a nyomástól függetlenül) a következő volt a cseppméret tekintetében: DG → AIXR → AI. Ezek az adatok - a kapcsolódó szakirodalomi forrásokban foglaltakat megerősítve - arra engedtek következtetni, hogy a hagyományos kivitelű réses fúvókák használata során keletkeznek a legapróbb részecskék, az elsodródás ellen védő réses változatok nagyobb cseppeket képeznek, a légbeszívásos réses fúvókák alkalmazásával pedig tovább növelhető a cseppméret.

Tehát 2. sz. hipotézisem is beigazolódni látszott, vagyis arra számítottam, hogy a fúvókák által képzett kis méretű cseppekre és az elsodródás mértékére, vagyis a lehetséges környezeti hatásokat leginkább befolyásoló paraméterekre vonatkozó adatok a fentiekkel teljes mértékben összhangban lévő konklúziók levonását teszik lehetővé.

A d_{v10}-re és a 100 µm alatti részecskék előfordulási gyakoriságára, továbbá az elsodródás-vizsgálatok keretében regisztrált összes relatív fedettségre vonatkozó eredmények a többi méréssel meghatározott jellemzőtől elkülönítve történt, részletes értékelése és statisztikai elemzése tükrében azonban a megismert és feldolgozott publikációkat, illetve gyártói információt csak részben megerősítő tanulságokra jutottam.

A lentebbi adatok és következtetések alapján 2. sz. hipotézisemet részben igaznak minősítettem, 3. sz. hipotézisemet ugyanakkor elvetettem, mert hamisnak bizonyult.

A d_{v10} mindkét vizsgálati nyomás mellett a TP típusú fúvóka esetében volt a legalacsonyabb, a 100 µm-nél kisebb cseppek aránya pedig a legmagasabb. A szélcsatornában meghatározott összes relatív fedettség értéke - egyetlen kivétellel - mindkét üzemi nyomás és mindhárom szélsebesség esetében magas volt.

A TP11004VP fúvókára vonatkozó vizsgálati eredményeim alapján tehát Nordbo et al. (1995) és Combellack et al. (1996) közleményeit - más szerzőkhöz (Matthews 2004; Bayat and Bozdogan, 2005) hasonlóan - meg tudtam erősíteni, amelyek szerint a hagyományos kivitelű réses fúvókák szántóföldi síkpermetezésre történő alkalmazása - szélcsendben - előnyökkel járhat, hiszen számottevő elsodródásra nem kell számítani, és a nagy mennyiségben jelen lévő apró cseppeknek köszönhetően redukálható a felhasznált vegyszer- és vízmennyiség, továbbá kedvező munkaminőség érhető el. Hátrányként jelentkezhet azonban, hogy a keletkezett cseppek célfelületre történő eljuttatása nehézségekbe ütközhet, mert a sok kis méretű és alacsony mozgási energiájú (elsodródásra különösen hajlamos) részecske könnyen elpárologhat, továbbá már igen gyenge szél (szélsebesség < 2,0 m s^{-1}) esetén is elsodródás fordulhat elő, ezáltal fokozódhat a környezetszennyezés veszélye.

A DG típusú fúvókánál a d_{v10} mindkét beállított nyomás mellett szignifikáns mértékben növekedett, a 100 µm-nél kisebb méretű részecskék előfordulási gyakorisága pedig szignifikánsan csökkent a TP fúvókához képest. Ezen eredményekből kiindulva tehát - hasonlóan, mint Dimitrievits és Kovács (2010), valamint Sztachó-Pekáry (2010) - László et al. (2000) és Csizmazia (2006) közleményeit, továbbá a gyártó által közölt szakmai információt (HTTP8) alá tudtam támasztani, vagyis az elsodródás ellen védő réses fúvókák a bennük elhelyezett előporlasztó betétnek köszönhetően alkalmasak arra, hogy a kis méretű, magas elsodródási hajlamú cseppeket kisebb mennyiségben hozzák létre, mint a hagyományos kivitelű réses fúvókák.

Ez alapján a hivatkozott publikációkkal összhangban azt feltételeztem, hogy a DG típus nyomástól és szélsebességtől függetlenül szignifikáns mértékben csökkenti az elsodródás mértékét a TP-hez viszonyítva. Mindazonáltal cseppképzés-vizsgálataim keretében a DG fúvókával kapcsolatban azt is megállapítottam, hogy a d_{v10} mindkét nyomáson viszonylag alacsony volt, a 100 µm alatti cseppek pedig számottevő mennyiségben voltak jelen.

Szélcsatornában végzett elsodródás-vizsgálataim eredményei nem igazolták feltevésemet, azaz cáfolták az említett forrásokat. A DG típusú fúvóka ugyanis 3,0 bar nyomáson kizárólag 6,0 m s^{-1} szélsebesség mellett volt képes szignifikánsan csökkenteni az összes relatív fedettséget a TP fúvókához képest, 4,0 bar mellett pedig - új tudományos eredményként - egyik szélsebesség mellett sem volt szignifikáns differencia a két fúvóka között a nevezett paraméter tekintetében.

Az elvégzett cseppképzés- és elsodródás-vizsgálatok eredményeinek értékelése, illetve elemzése alapján összességében tehát arra a következtetésre jutottam, hogy bár a DG11004VS réses fúvókák kevesebb elsodródásra kiváltképp hajlamos apró részecskét képeznek a TP típusú fúvókákhoz viszonyítva, ennek ellenére elsodródás ellen védő megnevezésük létjogosultsága, valamint funkciójuk betöltésére vonatkozó képességük kérdéses lehet, mert a keletkezett permetcseppek elsodródásának mértékét nem tudják minden kétséget kizáróan csökkenteni.

A fenti eredményekből adódott a konklúzió, hogy a DG11004VS elsodródás ellen védő réses fúvókákkal végzett szántóföldi permetezés során a hagyományos kivitelű réses fúvókákhoz viszonyítva a felhasznált anyagmennyiség nem csökkenthető, a munkaminőség javulása nem várható, hiszen kevesebb kis méretű cseppet hoznak létre, az elsodródás mértéke pedig nem mérsékelhető teljes biztonsággal, ezért gyakorlati alkalmazásuk nem javasolható.

Az AIXR és az AI típusú fúvókák 3,0 és 4,0 bar üzemi nyomáson is szignifikáns mértékű növekedést biztosítottak a d_{v10} tekintetében a TP, valamint a DG típushoz viszonyítva, a 100 µm-nél kisebb cseppek előfordulási gyakoriságát pedig szintén szignifikánsan csökkentették a másik két fúvókához képest.

Az elsodródás-vizsgálatok keretében meghatározott összes relatív fedettség értéke - egy adatot kivéve - mindkét üzemi nyomás és mindhárom szélsebesség esetében szignifikáns mértékben kisebb volt az AIXR és az AI esetében, mint a másik két típusnál.

Ezen eredmények alapján meg tudtam erősíteni más szerzők (Piggott and Matthews 1999; Butler Ellis et al. 2002; Delele et al. 2007; Jamar et al. 2010) közleményeit, vagyis a légbeszívásos réses fúvókák alkalmazásának előnyei két oldalról közelíthetőek meg. Az általuk képzett cseppek elsodródási hajlama sokkal kisebb, mint a hagyományos kivitelű, valamint az elsodródás ellen védő réses fúvókák által létrehozott részecskéké, mert légbuborékok vannak bennük. Ez a tulajdonság jó eséllyel biztosítja a kezelendő felület biztonságos elérését, azaz alkalmazásukkal erősebb szél (akár 6,0 m s^{-1}) esetében is valószínűleg jelentős mértékben csökkenthető a környezetet veszélyeztető elsodródás, a levegőt tartalmazó cseppek pedig a célfelülettel történő ütközéskor szétpattannak, ezáltal kisebb méretű részecskék keletkeznek, biztosítva a kellően egyenletes és elégséges mértékű fedettséget, a megfelelő munkaminőséget.

Új tudományos eredményeim alapján, amelyek szerint az AIXR11004VP légbeszívásos megnövelt hatósugarú és az AI11004VS légbeszívásos réses fúvókák között a képzett cseppekre jellemző d_{v10}, valamint a 100 µm-nél kisebb méretű cseppek százalékos aránya, továbbá a keletkezett részecskék elsodródásának mértékét jellemző összes relatív fedettség tekintetében sem volt szignifikáns differencia sem 3,0 bar, sem 4,0 bar üzemi nyomás mellett, az alábbi következtetésre jutottam. Műszaki szempontból jelentősen eltérő felépítésük (befoglaló méretek; a levegő beszívására szolgáló furatok kiképzése, elhelyezése; az áramlási viszonyokat meghatározó fúvókabetét, ill. -kamra kialakítása, stb.) ellenére nagy biztonsággal lehet arra számítani, hogy a két nevezett fúvóka által képzett kis méretű cseppek mennyisége, a részecskék elsodródási hajlama és a fúvókák elsodródás-csökkentő képessége megegyezik.

Mindkét légbeszívásos fúvóka javasolható tehát kielégítő minőségű, környezetkímélő szántóföldi permetezésre. Amennyiben az AIXR és az AI típus között kell választani, elegendő a fúvókák befoglaló méreteiből fakadó sérülékenységet és a beszerzési árat mérlegelni. Ezek a jellemzők az AIXR fúvókák esetében kedvezőbben alakulnak.

Vizsgálati eredményeim és következtetéseim alapján a TeeJet gyártmányú réses fúvókákra vonatkozó, a permetezési gyakorlat számára javasolható fontosabb műszaki és környezetvédelmi alkalmazási körülményeket és paramétereket a 12. sz. táblázatban foglaltam össze.

12. sz. táblázat: TeeJet gyártmányú réses fúvókák permetezési gyakorlat számára javasolható fontosabb műszaki és környezetvédelmi vonatkozású alkalmazási körülményei és jellemzői

Fúvóka megnevezése	Üzemi nyomás (bar)	Munka-magasság (m)	Képzett cseppek elsodródási hajlama*	Elsodródás mértéke (mennyiség, távolság)**	Maximális szélsebesség permetezés során** ($m\ s^{-1}$)	Környezetre gyakorolt hatás***
TP11004VP	3,0	0,5	magas	számottevő	2,0	kedvezőtlen
	4,0		igen magas	jelentős	szélcsend	káros
DG11004VS	3,0	0,5	számottevő	számottevő	2,0	kedvezőtlen
	4,0		jelentős	jelentős	szélcsend	káros
AIXR11004VP	3,0	0,5	alacsony	alacsony	6,0	kedvező
	4,0		mérsékelt	mérsékelt	6,0	
AI11004VS	3,0	0,5	alacsony	alacsony	6,0	kedvező
	4,0		mérsékelt	mérsékelt	6,0	

Megjegyzések:

*: Cseppképzés-vizsgálatok keretében meghatározott d_{v10} és a 100 µm-nél kisebb méretű cseppek előfordulási gyakorisága alapján.

**: Szélcsatornában végzett elsodródás-vizsgálatok eredményei tükrében.

***: Az összes vizsgálati eredmény alapján.

A John Deere permetezőgépeken alkalmazott TwinFluid 042/TK-SS10 típusú szórófej esetében mért összes cseppképzési jellemző vonatkozásában kapott adataim együttes értékelésére alapozott konklúzióm megerősítette a gyártó vállalat közlését (HTTP20), miszerint a képzett cseppek összességében vett mérete az alkalmazott beállítások következő sorrendjének megfelelően növekszik: 1. beállítás (folyadék nyomása: 2,00 bar, levegő nyomása: 1,25 bar) → 2. beállítás (2,50 bar, 1,25 bar) → 3. beállítás (1,50 bar, 0,75 bar) → 4. beállítás (1,50 bar, 0,50 bar), hiszen a vizsgált három d_v értéke (egy kivétellel) ebben a sorrendben nőtt, a kis méretű cseppek előfordulási gyakorisága pedig aszerint csökkent.

Ezekből az adatokból kiindulva 4. sz. hipotézisem igaznak tűnt, mert arra számítottam, hogy a környezetvédelmi szempontból kulcsfontosságú paraméterek kapcsán kapott eredmények részletes értékelése és statisztikai elemzése alapján a fentiekkel összhangban lévő következtetéseket tudok levonni.

A lentebbi eredmények és tanulságok tükrében azonban 4. sz. hipotézisemet csak négy beállítás-pár vonatkozásában tudtam igazként elfogadni.

Az 1. beállításról a 3. és a 4. beállításra, valamint a 2. beállításról a 3.-ra és a 4.-re történő változtatások (1. ↔ 3. és 1. ↔ 4., illetve 2. ↔ 3. és 2. ↔ 4.) ugyanis mind a négy jelölt (a nyilak a váltások irányát jelölik) beállítás-pár esetében szignifikáns differenciát eredményeztek a d_{v10} és a 100 µm-nél kisebb cseppek előfordulási gyakorisága tekintetében.

Szélcsatornában lefolytatott vizsgálataim kapcsolódó eredményei teljes mértékben összhangban voltak a fentebb közölt adatokkal, hiszen a jelölt párok vonatkozásában mindhárom szélsebesség mellett szignifikáns mértékben csökkent az összes relatív fedettség a megfelelő irányú váltások (1. → 3. és 1. → 4., illetve 2. → 3. és 2. → 4.) hatására.

Ebből adódott a következtetés, hogy a folyadék és a levegő nyomásának együttes és jelentős mértékű, szükséges irányú változtatásával szignifikáns mértékben növelhető, illetve csökkenthető a TwinFluid 042/TK-SS10 típusú szórófej által képzett kis méretű - elsodródásra különösen hajlamos - cseppek mennyisége, ezzel párhuzamosan a keletkezett részecskék elsodródásának mértéke szignifikánsan mérsékelhető, az elsodródás távolsága redukálható.

Eredményeim és következtetéseim alapján a gyártó állásfoglalását (HTTP20), valamint Jensen et al. (2001) és Markus et al. (2002) korábbi megállapításait, amelyet más szerzők (Wang et al., 2009; Ferreira et al., 2009; Pályi, 2010; Li et al., 2012) is alátámasztottak, általánosságban meg tudtam erősíteni, amelyek szerint szántóföldi permetezés során a TwinFluid szórófejek szakszerű üzemeltetésével a fennálló környezeti feltételek függvényében mérsékelhető a felhasznált permetlé mennyisége és javítható a kezelések minősége, továbbá csökkenthető az elsodródás.

Új tudományos eredményként kapott cseppképzés-vizsgálati adataim ugyanakkor azt mutatták, hogy az 1. beállításról a 2.-ra, továbbá a 3.-ról a 4.-re való váltások (1. ↔ 2. és 3. ↔ 4.) hatására egyik beállítás-párnál sem következett be szignifikáns mértékű változás sem a d_{v10}-ben, sem a 100 µm-nél kisebb méretű cseppek előfordulási gyakoriságában, azaz a részecskék elsodródási hajlama nem változott szignifikánsan.

Elsodródás-vizsgálati eredményeim szerint azonban a 3.-ról a 4. beállításra való váltás (3. → 4.) következtében mindhárom szélsebesség mellett szignifikánsan csökkent a meghatározott összes relatív fedettség. Ez az eredmény tehát nem erősítette meg új tudományos eredményemet, az 1. és a 2. beállítás kapcsán viszont - szintén új tudományos eredményként - azzal összhangban lévő adatokhoz jutottam, hiszen 4,0 m s^{-1} és 6,0 m s^{-1} szélsebesség esetén a két beállítás közti váltás (1. → 2.) nem eredményezett szignifikáns mértékű csökkenést a nevezett paraméter tekintetében.

A cseppképzés-vizsgálatok eredményeiből levonható a következtetés, hogy amennyiben a TwinFluid 042/TK-SS10 típusú szórófej üzemeltetése során kizárólag a folyadéknyomás vagy csak a levegő nyomása kerül kisebb mértékben megváltoztatásra a gyártó vállalat által megadott ajánlások szerint, a gyári és egyéb kereskedői információ (HTTP20; HTTP21) ellenére sem lehet teljes biztonsággal arra számítani, hogy a kis méretű cseppekre vonatkozó jellemzők változnak, azaz a kijuttatott anyagmennyiségre és a munkaminőségre, valamint a részecskék elsodródási hajlamára gyakorolható hatás kérdéses.

Elsodródás-vizsgálati adataim alapján pedig - a cseppképzés-vizsgálati eredményekből levont következtetést megerősítve és kiegészítve - arra a konklúzióra jutottam, hogy az 1. és a 2. beállítás közötti váltással (1. → 2.) 4,0 m s^{-1} sebességű vagy annál erősebb szél esetén végzett szántóföldi permetezés során nagy valószínűséggel nem lehet csökkenteni a TwinFluid 042/TK-SS10 szórófej által képzett cseppek elsodródását, vagyis az élő- és élettelen környezeti elemeket szennyező elsodródott permetlé mennyiségét, továbbá az elsodródás szennyezőforráshoz viszonyított távolságát.

Összefoglalás-képpen megállapítható, hogy a TwinFluid 042/TK-SS10 típusú szórófej gyakorlati alkalmazása nagy szakértelmet, fokozott odafigyelést igényel. A szórófejet gyártó vállalat és a műszaki megoldást nagy mennyiségben értékesíteni kívánó kereskedők által közölt információt javasolt fenntartásokkal kezelni, a permetezőgépek TwinFluid 042/TK-SS10 szórófejekkel történő felszerelését, illetve a permetezések megkezdését megelőzően, továbbá a védekezések során is érdemes felkészült szakember segítségét igénybe venni.

Vizsgálataim adatai, valamint következtetéseim tükrében TwinFluid 042/TK-SS10 típusú szórófejjel kapcsolatos, a permetezési gyakorlat számára ajánlható főbb technikai és környezetvédelmi alkalmazási körülményeket és jellemzőket a 13. sz. táblázatban foglaltam össze.

13. sz. táblázat: TwinFluid 042/TK-SS10 típusú szórófej gyakorlati szakemberek részére javasolható főbb technikai és környezetvédelmi vonatkozású alkalmazási körülményei és jellemzői

Beállítás		Munka-magasság (m)	Képzett cseppek elsodródási hajlama*	Elsodródás mértéke (mennyiség, távolság)**	Maximális szélsebesség permetezés során** ($m\ s^{-1}$)	Környezetre gyakorolt hatás***
Folyadék nyomása (bar)	Levegő nyomása (bar)					
2,00	1,25	0,50	magas	számottevő	2,00	kedvezőtlen
2,50	1,25	0,50	magas	számottevő	2,00	kedvezőtlen
1,50	0,75	0,50	jelentékeny	alacsony	6,00	kedvező
1,50	0,50	0,50	mérsékelt	alacsony	6,00	kedvező

Megjegyzések:

*, **,***: Ld. a 12. sz. táblázat alatt.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Az elmúlt időszakban a társadalom szereplői és a szakemberek részéről is évről-évre markánsabban jelentkezik az igény, hogy a kémiai növényvédelmi beavatkozások csökkentett vegyszer- és vízfelhasználással, a környezetre legkevésbé ártalmas módon legyenek végrehajthatóak, anélkül, hogy a kezelések hatékonysága romlana. Ezért a permetezés műszaki technológiájával szemben támasztott követelmények, a vonatkozó jogszabályok világszerte - így hazánkban is - jelentős mértékben szigorodtak. A témakör aktualitása és kiemelt jelentősége indokolta, hogy kutatási feladatként szántóföldi permetezésre használt műszaki megoldások - TeeJet gyártmányú TP11004VP, DG11004VS, AIXR11004VP és AI11004VS réses fúvókák, valamint John Deere permetezőgépeken alkalmazott TwinFluid 042/TK-SS10 típusú szórófej - cseppképzésének lézeres részecske-analizátorral történő, illetve a nevezett technikai megoldások által képzett cseppek elsodródásának szélcsatornában megvalósuló vizsgálatát, továbbá a rögzített adatok, illetve új tudományos eredményeim alapján - a vonatkozó szakirodalom ismeretében - mások számára is hasznos következtetések levonását és javaslatok megfogalmazását tűztem ki.

Célkitűzéseimmel összhangban a fentebb nevezett réses fúvókák, valamint a TwinFluid szórófej cseppképzését Malvern 2600 C típusú lézeres részecske-analizátor segítségével vizsgáltam meg az MGI akkreditált vizsgálólaboratóriumában. A cseppképzés-vizsgálatok során a fúvókákat 3,0 és 4,0 bar nyomáson, a TwinFluid szórófejet pedig négyféle beállítás mellett mértem, a munkamagasság minden esetben 0.5 m volt. A méréssel meghatározott cseppképzési jellemzők közül a d_{v10}-et és a 100 μm-nél kisebb részecskék előfordulási gyakoriságát mint a permetezés lehetséges környezeti hatásait legnagyobb mértékben befolyásoló paramétereket értékeltem és elemeztem részletesen.

Az elsodródás-vizsgálatokat az MGI szélcsatornájában folytattam le vízérzékeny papírok segítségével. Az üzemeltetési jellemzők a fentiekkel megegyezőek voltak, a vizsgálatokat 2,0, 4,0, illetve 6,0 m s^{-1} szélsebesség mellett végeztem el. Az összegyűjtött mintákat sztereómikroszkóp közbeiktatásával lefényképeztem, majd elektronikus formátumban mentettem. A relatív fedettség meghatározásához képfeldolgozó programot használtam. Részletesen a teljes mérési tartományra vonatkozó összes relatív fedettséget értékeltem és elemeztem, mert a keletkezett cseppek elsodródásának mértékét ezzel a paraméterrel lehet jól jellemezni, továbbá a részecskék elsodródási távolságára is fokozott figyelmet fordítottam.

A d_{v10} és a 100 µm alatti részecskék aránya, valamint az összes relatív fedettség vonatkozásában rögzített adatokból adódott a következtetés, hogy a TeeJet TP11004VP hagyományos kivitelű réses fúvókákkal végzett szántóföldi síkpermetezés - szélcsendben - előnyös lehet, a nagy mennyiségben keletkezett, elsodródásra kiváltképp hajlamos apró cseppek azonban már igen gyenge szél (< 2,0 m s^{-1}) esetén is elsodródhatnak, fokozva a környezetszennyezés kockázatát.

A DG típusnál a d_{v10} mindkét beállított nyomás mellett növekedett, a 100 µm-nél kisebb méretű cseppek előfordulási gyakorisága pedig csökkent a TP fúvókához képest. Ebből arra következtettem, hogy a TeeJet DG11004VS elsodródás ellen védő réses fúvókák alkalmasak összességében kisebb elsodródási hajlamú cseppek képzésére a hagyományos kivitelű réses fúvókákhoz viszonyítva. Ennek ellenére elsodródás-vizsgálati eredményeim - köztük egyik új tudományos eredményem, miszerint 4,0 bar nyomáson egyik szélsebesség mellett sem volt szignifikáns differencia a DG és a TP fúvóka között az összes relatív fedettség tekintetében - tükrében levontam a következtetést, hogy nem jelenthető ki teljes biztonsággal, hogy a hagyományos réses fúvókákhoz képest csökkentik a keletkezett részecskék elsodródásának mértékét. A TeeJet DG11004VS elsodródás ellen védő réses fúvókákkal kapcsolatban összességében arra a következtetésre jutottam, hogy megnevezésükből adódó funkciójuk betöltésére vonatkozó képességük kétséges lehet, ezért előnyökkel kecsegtető gyakorlati alkalmazásuk lehetősége és létjogosultsága megkérdőjelezhető.

Az AIXR és az AI típus esetében - a TP és a DG fúvókához viszonyítva - a d_{v10} mindkét nyomáson sokkal magasabb, a 100 µm-nél kisebb cseppek aránya jóval alacsonyabb értékeket vett fel, az összes relatív fedettség pedig - egy adatot kivéve - mindkét üzemi nyomás és mindhárom szélsebesség esetében sokkal kisebb volt. Ezek alapján megfogalmaztam a következtetést, hogy a TeeJet AIXR11004VP és a TeeJet AI11004VS légbeszívásos réses fúvókák által képzett cseppek elsodródási hajlama sokkal kisebb, mint a hagyományos kivitelű, valamint az elsodródás ellen védő fúvókák által létrehozott részecskéké, alkalmazásukkal erősebb szél (akár 6,0 m s^{-1}) esetében is jelentős mértékben csökkenthető a környezetet veszélyeztető elsodródás anélkül, hogy a munkaminőség romlana. Új tudományos eredményeim alapján, amelyek szerint a TeeJet AIXR11004VP és a TeeJet AI11004VS fúvókák között sem a d_{v10}, sem a 100 µm-nél kisebb cseppek aránya, sem az összes relatív fedettség tekintetében nem volt szignifikáns differencia egyik vizsgálati nyomáson sem, arra a következtetésre jutottam, hogy jelentősen eltérő műszaki tartalmuk és kivitelük ellenére a fúvókák által képzett apró részecskék mennyisége és elsodródás-csökkentő képessége gyakorlatilag azonosnak tekinthető, szakemberek részére javasolhatóak megfelelő minőségű, környezetkímélő permetezés megvalósítására.

A TwinFluid 042/TK-SS10 szórófej esetében az 1.-ről a 3. és a 4. beállításra, továbbá a 2.-ról a 3.-ra és a 4.-re történő váltások mind a négy lehetséges beállítás-pár esetében mindkét irányban szignifikáns differenciát okoztak a d_{v10} és a 100 µm-nél kisebb cseppek előfordulási gyakorisága tekintetében. Szélcsatornában lefolytatott elsodródás-vizsgálataim mindhárom szélsebesség mellett szignifikáns eltérést mutattak a jelölt párok között az összes relatív fedettség tekintetében. Ezek alapján arra következtettem, hogy amennyiben a TwinFluid 042/TK-SS10 szórófejet helyes beállítás(ok) mellett szakszerűen üzemeltetik, a környezeti adottságoktól függően csökkenteni lehet a felhasznált anyagmennyiséget és jó munkaminőség érhető el, illetve redukálható a cseppek elsodródásának mértéke.

Új tudományos eredményként kapott cseppképzés-vizsgálati adataim ugyanakkor arra mutattak rá, hogy az 1.-ről a 2. beállításra, továbbá a 3.-ról a 4.-re való váltások a váltás irányától függetlenül nem járnak együtt sem a d_{v10}, sem a 100 µm-nél kisebb méretű cseppek előfordulási gyakoriságának szignifikáns mértékű változásával. Elsodródás-vizsgálati eredményeim szerint azonban mindhárom szélsebesség mellett szignifikáns differencia volt a 3. és a 4. beállítás között a meghatározott összes relatív fedettségben, az 1. és a 2. beállítás kapcsán viszont - szintén új tudományos eredményként - 4,0 m s^{-1} és 6,0 m s^{-1} szélsebesség esetén nem. A cseppképzés-vizsgálatok eredményeiből levonható a következtetés, hogy amennyiben a TwinFluid 042/TK-SS10 szórófej üzemeltetése során a gyártó vállalat ajánlásainak megfelelően kizárólag a folyadéknyomás (az 1. és a 2. beállítás vonatkozásában: 2,00 bar ↔ 2,50 bar) vagy csak a levegő nyomása (a 3. és a 4. beállításnál: 0,75 ↔ 0,50 bar) kerül megváltoztatásra, a fajlagos szórásmennyiségre, a permetezések minőségére, továbbá a permetcseppek elsodródásának mértékére gyakorolható hatás kétséges. Az 1. (folyadék nyomása: 2,00 bar, levegő nyomása: 1,25 bar) és a 2. beállítás (2,50 bar, 1,25 bar) vonatkozásában - az előző következtetést kiegészítve - arra a következtetésre jutottam, hogy a nevezett beállítások közötti váltással (1. → 2.) 4,0 m s^{-1} sebességű vagy annál erősebb szél esetén nagy valószínűséggel nem lehet számottevő mértékben csökkenteni a TwinFluid 042/TK-SS10 szórófej által képzett cseppek elsodródását (mennyiség és távolság).

Összefoglalás-képpen az a szakmai javaslat fogalmazható meg, hogy a TwinFluid 042/TK-SS10 szórófej gyakorlati alkalmazása fokozott odafigyelést igényel, a szórófejet gyártó vállalat és a műszaki megoldást nagy mennyiségben értékesíteni kívánó kereskedők által szolgáltatott információt indokolt fenntartásokkal kezelni.

7. SUMMARY

Recently the demand has been sharper and sharper from year to year among participants of society, and experts that chemical plant protection interventions should be performed using reduced amounts of chemicals and water, and to be performed in the least hazardous way to the environment, without poorer efficiency, therefore the technical requirements concerning spraying technology, and the related legal regulations have become significantly stricter throughout the world and so in our country. The actuality and outstanding importance of the topic motivated my research work objective to be the inspection of drop production of technical solutions for field crop spraying - TeeJet TP11004VP, DG11004VS, AIXR11004VP and AI11004VS flat fan nozzles, and John Deere TwinFluid 042/TK-SS10 nozzle - using a laser particle sizer, and the drift of drops created by the above mentioned technical solutions in a wind tunnel, furthermore, based on the recorded data and on my new scientific achievements, knowing the relevant professional references, drawing conclusions also useful for others and formulating recommendations.

In line with the objectives the drop production of the above mentioned four flat fan nozzles, and the TwinFluid nozzle was inspected in the accredited MGI laboratory using a laser particle sizer type Malvern 2600 C. During the inspections of drop production the nozzles were tested by pressures of 3.0 and 4.0 bar, and the TwinFluid nozzle was measured by four different settings, the working height was 0.5 m in each case. Among the drop production characteristics identified by measurement of d_{v10} and the rate of the drops with sizes smaller than 100 μm as the parameters affecting the possible environmental effects of spraying in the greatest degree were evaluated and analysed in detail.

Drift measurements were performed in the MGI's wind tunnel using water-sensitive papers. The operational characteristics were identical to those mentioned above, the inspections were performed by wind velocities of 2.0, 4.0, and 6.0 m s^{-1}. Samples collected were taken photographs of inserting a stereo microscope, and electronically saved. Relative coverage was identified using a spectrum analysis software. The total relative coverage related to the full measuring range was assessed and analysed in detail as the degree of drift of the formed drops may be characterised by this parameter.

The d_{v10} and the ratio of particles below 100 μm, and the data saved in connection with the total relative coverage resulted in the consequence that using the TeeJet TP11004VP conventional flat fan nozzles on-field flat spraying (in no-wind conditions) may be advantageous, however, the small drops especially inclined for drifting and created in a large amount may be significantly drifted by even a very low wind (< 2.0 m s^{-1}) increasing the risk of environmental contamination.

In case of the DG type the d_{v10} increased by both preset pressure values, and the occurrence rate of drops with sizes below 100 μm decreased related to those in case of the TP nozzle. This made me infer that the TeeJet DG11004VS Drift Guard flat fan nozzles are suitable for creating drops with less intention for drifting related to the traditional flat fan nozzles. Despite this, knowing the results of drift measurements, involving one of my new scientific achievements according to which there was no significant difference between the DG and TP nozzles concerning total relative coverage by any of the wind velocity values on a pressure of 4.0 bar, I have drawn the conclusion that it could not be certainly stated that they reduce the degree of drift of the created particles related to the conventional flat fan nozzles. On the whole, concerning the TeeJet DG11004VS Drift Guard flat fan nozzles I deducted that their capacities of fulfilling their functions originating from their names may be doubtful, therefore, their practical usage promising advantages and their reason for existence is questionable.

In case of types AIXR and AI - related to the TP and DG nozzles - the d_{v10} was much higher by both pressures, and the ratio of drops smaller than 100 μm had a much lower value, and the total relative coverage - except for one data - was much less in case of both working pressures and all three wind velocity values. Based on these, I made up the conclusion that the drifting inclination of the drops created by TeeJet AIXR11004VP and TeeJet AI11004VS Air Induction flat fan nozzles is much lower than that of the particles created by the traditional and drift guard nozzles, and their usage helps significantly decrease drift hazardous to the environment even in case of stronger winds (even 6.0 m s^{-1}) without deteriorating the quality of work. Based on my new scientific results - according to which between the nozzles TeeJet AIXR11004VP and TeeJet AI11004VS neither the d_{v10} nor the ratio of drops smaller than 100 μm and nor the total relative coverage characterizing the degree of drift of the particles formed showed significant difference by any of the inspection pressure values - I made up the conclusion that despite their significantly different technical contents and design the drift reducing capability of the nozzles was rather similar, and they are suitable to be recommended for practical experts to implement environmentally friendly spraying of appropriate quality.

In case of the TwinFluid 042/TK-SS10 nozzle changes from setting 1 to 3 and 4, furthermore, from setting 2 to 3 and 4 caused significant differences in both directions in case of all four possible setting-pairs concerning the d_{v10} and the rate of occurrence of drops smaller than 100 µm. The drift measurements performed in a wind tunnel showed significant differences by all three wind speed values between the given pairs concerning total relative coverage. Based on this I concluded that if the TwinFluid 042/TK-SS10 nozzle is expertly operated by correct settings - depending on the environmental conditions - the used amount of spray liquid may be reduced and good quality of work can be achieved, furthermore also the degree of drift of drops can be reduced.

At the same time, the inspection data on drop production obtained as new scientific results showed that the changes from setting 1 to 2 and from 3 to 4, irrespective of the direction of the change, do not entail the significant change of neither the d_{v10} nor the rate of occurrence of drops smaller than 100 µm. According to my drift measurements results, however, there was a significant difference by all three wind velocity values between settings 3 and 4 concerning preset total relative coverage, at the same time, in connection with settings 1 and 2 - again as a new scientific result - there was no difference even by wind velocities of 4.0 m s^{-1} and 6.0 m s^{-1}. The above results of drop-production inspections it can be concluded that if during the operation of the TwinFluid 042/TK-SS10 nozzle only the liquid pressure (in case of settings 1 and 2: 2.00 bar ↔ 2.50 bar) or only the air pressure (by settings 3 and 4: 0.75 ↔ 0.50 bar) is changes as per the recommendation of the manufacturer, the effect on the sprayed amount, the spraying quality, and the degree of drfit of the formed drops is doubtful. Concerning settings 1 (liquid pressure: 2.00 bar; air pressure: 1.25 bar) and 2 (liquid pressure: 2.50 bar; air pressure: 1.25 bar), completing the previous conclusion, I concluded that by changing between the given settings (1 → 2) in case of a wind velocity of 4.0 m s^{-1} or greater the drift of the drops created by the TwinFluid 042/TK-SS10 nozzle probably cannot be reduced by a significant rate.

To sum up, a professional recommendation can be set up according to which the TwinFluid 042/TK-SS10 nozzle's practical usage requires increased attention, and the information provided by the nozzle manufacturing company and the dealers wishing to sell the given technical solution in large quantities are reasonable to be interpreted with reservations.

8. MELLÉKLET

Irodalomjegyzék

2009/128/EK: Az EURÓPAI PARLAMENT ÉS A TANÁCS 2009/128/EK IRÁNYELVE (2009. október 21.) a peszticidek fenntartható használatának elérését célzó közösségi fellépés kereteinek meghatározásáról

2008. évi XLVI. törvény az élelmiszerláncról és hatósági felügyeletéről

43/2010. (IV. 23.) FVM rendelet a növényvédelmi tevékenységről

AVAR L. (2009): Precízen a mezőgazdaságban. *Magyar Mezőgazdaság*, 64 (44) 16-17. p.

ÁNGYÁN J., MENYHÉRT Z., VARGA A., BAKONYI G., SZABÓ M., BARCZI A., SZABÓNÉ KELE G., TURCSÁNYI G., PENKSZA K., BARDÓCZYNÉ SZÉKELY E., NOVÁKY B., LOKSA G., SZAKÁL F., VIDA G., TAKÁCS-SÁNTA A., NYÁRAI HORVÁTH F., MÓRA V., MÁRAI G., KRISZT B., SZOBOSZLAY S., KOHLHEB N. és LAKI G. (2004): A mezőgazdaság iparosítása, iparszerű mezőgazdálkodás. 26-90. p. In: ÁNGYÁN J. és MENYHÉRT Z. (Szerk.): *Alkalmazkodó növénytermesztés, környezet- és tájgazdálkodás.* Budapest: Szaktudás Kiadó Ház, 559 p.

BABLENA A. és GULYÁS Z. (2010): A szántóföldi növényvédelem. *agrárium AGRÁR- ÉS PIACGAZDASÁG*, 20 (2010/9 – Gépesítési melléklet) 10-11 p.

BALÁZS F. és DIMITRIEVITS GY. (1979): A növényvédelem gépei. Budapest: Mezőgazdasági Kiadó, 199 p.

BALÁZS F., DIMITRIEVITS GY. és RUTTKAY P. (1984): A növényvédő gépek üzemeltetése. Budapest: Mezőgazdasági Kiadó, 307 p.

BALSARI P., MARUCCO P. és TAMAGNONE M. (2007): A test bench for the classification of boom sprayers according to drift risk. *Crop Protection*, 26 (10) 1482-1489. p.

BAYAT A. és BOZDOGAN N.Y. (2005): An air-assisted spinning disc nozzle and its performance on spray deposition and reduction of drift potential. *Crop Protection*, 24 (11) 951-960. p.

BÁLINT TÓTH J. (2012): A hatékony gyomirtás gépeiről, műszaki megoldásairól. *Agrárágazat*, XIII (8) 88-92. p.

BIBER K., DIMITRIEVITS GY. és TÓTH B. [2002]: Milyen szert használjunk? [Budapest: Mezőgazda Kiadó] (Gazdakönyvtár), 331 p.

BUTLER ELLIS M.C., SWAN T., MILLER P.C.H., WADDELOW S., BRADLEY A. és TUCK C.R. (2002): PM-Power and Machinery: Design Factors affecting Spray Characteristics and Drift Performance of Air Induction Nozzles. *Biosystems Engineering*, 82 (3) 289-296. p.

COMBELLACK J.H., WESTEN N.M. és RICHARDSON R.G. (1996): A comparison of the drift potential of a novel twin fluid nozzle with conventional low volume flat fan nozzles when using a range of adjuvants. *Crop Protection*, 15 (2) 147-152. p.

COOKE B.K., HISLOP E.C., HERRINGTON P.J., WESTERN N.M. és HUMPHERSON-JONES F. (1990): Air-assisted spraying of arable crops, in relation to deposition, drift and pesticide performance. *Crop Protection*, 9 (4) 303-311. p.

CSIZMAZIA Z. (2006): A növényvédelem gépei. Budapest: Mezőgazda Kiadó, 145 p.

DEGRÉ A., MOSTADE O., HUYGHEBAERT B., TISSOT S. és DEBOUCHE C. (2001): Comparison by Image Processing of Target Supports of Spray Droplets. *Transactions of the ASAE*, 44 (2) 217-222. p.

DELELE M.A., JAEKEN P., DEBAER C., BAETENS K., MELESE ENDALEW A., RAMON H., NICOLAI B.M. és VERBOVEN P. (2007): CFD prototyping of an air-assisted orchard sprayer aimed at drift reduction. *Computers and Electronics in Agriculture*, 55 (1) 16-27. p.

DEMES GY. (2007): Bemutatkozott a DAMMANN-TRACK DT 2000 H önjáró permetezőgép. *Agrofórum*, 18 (12) 90-91. p.

DIMITRIEVITS GY. (2005): A permetezési technika jelenlegi helyzete és fejlesztési lehetőségei. *Őstermelő: gazdálkodók lapja*, 9 (2) 82-85. p.

DIMITRIEVITS GY., GULYÁS Z., KOVÁCS L. és SALLAI P. (2005): New Methods of Fruit Tree Spraying. *Hungarian Agricultural Engineering*, N° 18/2005 15-17 p.

DIMITRIEVITS GY. (2006): Szántóföldi permetezőgépek szakszerű üzemeltetése. *Agrárágazat*, VII (4) 46-51. p.

DIMITRIEVITS GY. (2007a): Permetezőgépek szántóföldi védekezésekhez. *Agrofórum*, 18 (5) 68-70. p.

DIMITRIEVITS GY. (2007b): KERTITOX FAVORIT 3000/18 légzsákos szántóföldi permetezőgép. *Agrofórum*, 18 (6) 63-66. p.

DIMITRIEVITS GY. (2007c): A permetezési technika fejlesztésének lehetőségei. *Agrofórum*, 18 (8) 88-91. p.

DIMITRIEVITS GY. (2007d): Új lehetőségek a permetezéstechnikában. *Agrofórum*, 18 (10) 84-86. p.

DIMITRIEVITS GY., GULYÁS Z. és KOVÁCS L. (2007): Szántóföldi permetezés - hatékonyan. *Magyar Mezőgazdaság*, 62 (12) 22-23. p.

DIMITRIEVITS GY. (2008a): Új gép a szélarányos, csak a fertőzés helyére irányuló permetezésre. *Agrofórum,* 19 (3) 104-105. p.

DIMITRIEVITS GY. (2008b): HARDI COMMANDER TWIN FORCE légzsákos szántóföldi permetezőgép ismertetése. *Agrofórum,* Extra 26. (2008. május 15.) 38-41. p.

DIMITRIEVITS GY. és KOVÁCS L. (2010): A növényvédő szer alkalmazás kockázatának csökkentése. 337-373. p. In: AMBRUS Á. (Szerk.): *Élelmiszerbiztonság megítélési módszerei I. kötet.* Budapest: Edison House Holding Zrt., 1196 p.

DIMITRIEVITS GY. és GULYÁS Z. (2011): A növényvédelem gépesítése. Budapest: Szaktudás Kiadó Ház, 255 p.

DIMITRIEVITS GY. és GULYÁS Z. (2012a): Közvetlen vegyszerbeadagolású permetezőgép fejlesztése. *Mezőgazdasági Technika*, LIII (1) 6-7. p.

DIMITRIEVITS GY. és GULYÁS Z. (2012b): Hidas önjáró permetezőgépek. *agrárium AGRÁR-ÉS PIACGAZDASÁG,* 22 (2012/5) 14-15. p.

DOWNEY D., CROWE T.G., GILES D.K. és SLAUGHTER D.C. (2006): Direct nozzle injection of pesticide concentrate into continous flow for intermittent spray applications. *Transactions of the ASABE*, 49 (4) 865-873. p.

FENYVESI L. és PAPP Z. (2007): Új távérzékelési módszer a mezőgazdaságban és a környezetgazdálkodásban. *Mezőgazdasági Technika*, XLVIII (1) 26-28. p.

FERREIRA G., GARCÍA J.A., BARRERAS F., LOZANO A. és LINCHETA E. (2009): Design optimization of twin-fluid atomizers with an internal mixing chamber for heavy fuel oils. *Fuel Processing Technology*, 90 (2) 270-278. p.

FOX R.D., SALYANI M., COOPER J.A. és BRAZEE R.D. (2001): Spot size comparisons on oil- and water-sensitive paper. *Applied Engineering in Agriculture*, 17 (2) 131-136. p.

FŰZY J. és SOÓS S. (2010): Hogyan válasszunk szántóföldi permetezőgépet? *AgrárUnió*, XI (4) 92-93. p.

GAÁL J., LÁSZLÓ A., SZATMÁRI S., PÁLYI B. és DAJKA R. (2004): Precíziós, helyspecifikus növényvédelmi kijuttatástechnika. In: 2. kötet (Előadások) MTA AMB Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás Nr. 28, Szent István Egyetem, Gödöllő, 364-369. p.

GANZELMEIER H. és RAUTMANN D. (2000): Drift, drift reducing sprayers and sprayer testing. *Aspects of Applied Biology*, 57 1-10. p.

GILLIS K.P., GILES D.K., SLAUGHTER D.C. és DOWNEY D. (2002): Injection mixing system for boomless, target-activated herbicide spraying. *Transactions of the ASAE*, 46 (4) 997-1008. p.

GULYÁS Z. és KOVÁCS L. (2006): Anyagtakarékos permetezőgépek vizsgálatának eredményei. *Mezőgazdasági Technika*, XLVII (2) 2-4. p.

GULYÁS Z. (2009): A permetezés fejlesztési lehetőségei. *Magyar Mezőgazdaság*, 64 (4) 20-23. p.

GULYÁS Z., SZOBOSZLAY S. és FENYVESI L. (2012): Liquid atomization and spray drift measurement in a wind tunnel for twin fluid system with a deflector nozzle. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 36 (4) 469-475. p.

HEWITT A.J., VALCORE D.L., TESKE M.E. és SCHICK R.J. (1998): Droplet Size Classifications for Agricultural Sprays. In: Proceedings of Ilass Americas 11th Annual Conference on Liquid Atomization and Spray Systems, Sacramento, CA, USA

HEWITT A.J. (2000): Spray drift: impact of requirements to protect the environment. *Crop Protection*, 19 (8-10) 623-627. p.

HEWITT A.J. (2008): Droplet size spectra classification categories in aerial application scenarios. *Crop Protection*, 27 (9) 1284-1288. p.

HILL B.D. és INABA D.J. (1989): Use of water-sensitive paper to monitor the deposition of aerially applied insecticides. *Journal of Economic Entomology*, 82 (3) 974-980. p.

HTTP1:http://www.entam.net/index.php - letöltés dátuma: 2012. 07. 11.

HTTP2:http://www.jki.bund.de/no_cache/de/startseite/institute/anwendungstechnik/geraetelisten/verlustmindernde-pflanzenschutzgeraete.html - letöltés dátuma: 2012. 07. 11.

HTTP3:http://www.albuz-spray.com/wp-content/uploads/EN_catalogue-Albuz_APM.pdf - letöltés dátuma: 2012. 07. 18.

HTTP4:http://www.albuz-spray.com/wp-content/uploads/EN_catalogue-Albuz_AXI.pdf - letöltés dátuma: 2012. 07. 18.

HTTP5:http://www.teejet.com/media/433190/010_cat51-m_lores.pdf - letöltés dátuma: 2012. 07. 18.

HTTP6:http://www.lechler.de/Produkte/Landtechnik/Duesen-fuer-Flaechenkulturen/Mehrbereichs-Flachstrahlduesen-LU/-cbfTF_AAABpjcAAAEvrooh.E.A-de_DE - letöltés dátuma: 2012. 07. 19.

HTTP7:http://www.albuz-spray.com/wp-content/uploads/US_catalogue-Albuz_ADI.pdf - letöltés dátuma: 2012. 07. 19.

HTTP8:http://www.teejet.com/media/433202/013_cat51-m_lores.pdf - letöltés dátuma: 2012. 07. 19.

HTTP9:https://shop.lechler.de/is-bin/intershop.static/WFS/LechlerDE-Shop-Site/LechlerDE-Shop/de_DE/PDF/02_produkte/landtechnik/duesen_flaechenkulturen/deutsch/AD_Lechler_DE.pdf - letöltés dátuma: 2012. 07. 20.

HTTP10:http://www.hardi-international.com/global/products/sprayer-components/nozzles/nozzle-types/field-sprayers/# - letöltés dátuma: 2012. 10. 01.

HTTP11:http://www.albuz-spray.com/wp-content/uploads/EN_catalogue-Albuz_AVI110.pdf - letöltés dátuma: 2012. 10. 01.

HTTP12:http://www.teejet.com/media/433178/007_cat51-m_lores.pdf - letöltés dátuma: 2012. 10. 01.

HTTP13:http://www.lechler.de/Produkte/Landtechnik/Duesen-fuer-Flaechenkulturen/Air-Injektor-Flachstrahlduesen-ID/-cb2wd_AAABULMAAAEvzIoh.E.A-de_DE - letöltés dátuma: 2012. 10. 02.

HTTP14:http://www.teejet.com/media/256660/li-tj112-r3_aixr_us_lo.pdf - letöltés dátuma: 2012. 10. 02.

HTTP15:http://www.teejet.com/media/433174/006_cat51-m_lores.pdf - letöltés dátuma: 2012. 10. 02.

HTTP16:http://www.teejet.com/media/d087b182-860f-485e-9815-28944279c464-014_CAT50_HUNG_LR.pdf - letöltés dátuma: 2012. 10. 02.

HTTP17:http://www.albuz-spray.com/wp-content/uploads/EN_catalogue-Albuz_AVITWIN.pdf - letöltés dátuma: 2012. 10. 03.

HTTP18:http://www.teejet.com/media/349962/li-tj123m%20twins_a4_lo%20res.pdf - letöltés dátuma: 2012. 10. 03.

HTTP19:http://www.lechler.de/Produkte/Landtechnik/Sonderduesen/Air-Injektor-Schraegstrahlduesen-IS/-cbSVR_AAABB.YAAAEvc4oh.E.A-de_DE - letöltés dátuma: 2012. 10. 03.

HTTP20:http://www.deere.com/region_ii/media/application/equipment/agriculture/sprayers/nozzle_selector/spraypartner_uk.pdf - letöltés dátuma: 2012. 10. 04.

HTTP21:http://agrico.squarespace.com/storage/john-deere/sprayers/7.%20John%20Deere%20TwinFluid%20System.pdf - letöltés dátuma: 2012. 10. 04.

HTTP22:https://shop.lechler.de/is-bin/intershop.static/WFS/LechlerDE-Shop-Site/LechlerDE-Shop/de_DE/PDF/02_produkte/landtechnik/zubehoer/deutsch/varioselect.pdf - letöltés dátuma: 2012. 10. 04.

HTTP23:http://www.dammann-technik.de/DAS-System-D.pdf - letöltés dátuma: 2012. 10. 05.

HTTP24:http://www.teejet.com/media/328889/cat50a-m_metric_lores_all.pdf - letöltés dátuma: 2012. 10. 05.

ISO 5682-1:1996 Equipment for crop protection - Spraying equipment - Part 1: Test methods for sprayer nozzles

ISO 10625:2005 Equipment for crop protection - Sprayer nozzles - Colour coding for identification

JAMAR L., MOSTADE O., HUYGHEBAERT B., PIGEON O. és LATEUR M. (2010): Comparative performance of recycling tunnel and conventional sprayers using standard and drift-mitigating nozzles in dwarf apple orchards. *Crop Protection*, 29 (6) 561-566. p.

JENSEN P.K., JORGENSEN L.N. és KIRKNEL E. (2001): Biological efficacy of herbicides and fungicides applied with low-drift and twin-fluid nozzles. *Crop Protection*, 20 (1) 57-64. p.

JUSLIN L., ANTIKAINEN O., MERKKU P. és YLIRUUSI J. (1995): Droplet size measurement: I. Effect of three independent variables on droplet size distribution and spray angle from a pneumatic nozzle. *International Journal of Pharmaceutics*, 123 (2) 247-256. p.

KALMÁR I., KALMÁRNÉ VASS E. és NAGY V. (2009): Some of the possibilities of reducing pesticides by applying spray technics. *Hungarian Agricultural Engineering*, N° 22/2009 13-15 p.

KUFFERATH A., WENDE B. és LEUCKEL W. (1999): Influence of liquid flow conditions on spray characteristics of internal-mixing twin-fluid atomisers. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 20 (5) 513-519. p.

LÁNG Z. (2000): A zöldség-, dísznövény- és szaporítóanyag-termesztés berendezései és gépei. Budapest: Mezőgazda Kiadó, 384 p.

LÁSZLÓ A. (1993): Növényvédelem gépei. 228-245. p. In: SZENDRŐ P. (Szerk.): *Mezőgazdasági géptan.* Budapest: Mezőgazda Kiadó, 560 p.

LÁSZLÓ A. (1997): Folyadékok porlasztása. 393-418. p. In: SITKEI GY. (Szerk.): *Gyakorlati áramlástan.* Budapest: Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, 504 p.

LÁSZLÓ A., PÁLYI B., IMELY I. és LÁSZLÓ A.-NÉ (2000): Növényvédelmi szórófejek elsodródási jellemzőinek vizsgálata. In: 1. kötet (Előadások) MTA AMB Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás Nr. 24, Szent István Egyetem, Gödöllő, 178-180. p.

LÁSZLÓ A. (2003): Növényvédelem gépei. 277-303. p. In: SZENDRŐ P. (Szerk.): *Géptan.* Budapest: Mezőgazda Kiadó, 810 p.

LÁSZLÓ A., PÁLYI B., LÖNHÁRD M. és LÁSZLÓ A.-NÉ (2004): Környezetkímélő kijuttatás, időjárás- és eljárásfüggő elsodródás vizsgálata. In: 1. kötet (Előadások) MTA AMB Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás Nr. 28, Szent István Egyetem, Gödöllő, 141-145. p.

LEŠNIK M., PINTAR C., LOBNIK A. és KOLAR M. (2005): Comparison of the effectiveness of standard and drift-reducing nozzles for control of some pests of apple. *Crop Protection*, 24 (2) 93-100. p.

LI Z., WU Y., CAI C., ZHANG H., GONG Y., TAKENO K., HASHIGUCHI K. és LU J. (2012): Mixing and atomization characteristics in an internal-mixing twin-fluid atomizer. *Fuel*, 97 306-314. p.

MA Z., MERKUS H.G., DE SMET J.G.A.E., HEFFELS C. és SCARLETT B. (2000): New developments in particle characterization by laser diffraction: size and shape. *Powder Technology*, 111 (1–2) 66-78. p.

MARKUS S., FRITSCHING U. és BAUCKHAGE K. (2002): Jet break up of liquid metal in twin fluid atomisation. *Materials Science and Engineering: A*, 326 (1) 122-133. p.

MATTHEWS G.A. (2004): How was the pesticide applied? *Crop Protection*, 23 (7) 651-653. p.

MEZŐGÉPTESZT (2011a): KERTITOX 3000/24 típusú, önjáró kivitelű szántóföldi permetezőgép. *Mezőgazdasági Technika*, LII (7) 25-26. p.

MEZŐGÉPTESZT (2011b): KERTITOX GÓLIÁT 4000/24 típusú, hidas kivitelű önjáró szántóföldi permetezőgép. *Mezőgazdasági Technika*, LII (8) 19-20. p.

MILICS G. és NEMÉNYI M. (2010): A precíziós mezőgazdaság műszaki feltételrendszere. A helyspecifikus tápanyagkijuttatás és -növényvédelem. *agronapló*, XIV (2010/5) 44. p.

MILLER P.C.H. és HADFIELD D.J. (1989): A simulation model of the spray drift from hydraulic nozzles. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 42 (2) 135-147. p.

MOLNÁR T. (2009): Precíziós gazdálkodás napjainkban. *Magyar Mezőgazdaság*, 64 (45) 18-19. p.

MURPHY S.D., MILLER P.C.H. és PARKIN C.S. (2000): The Effect of Boom Section and Nozzle Configuration on the Risk of Spray Drift. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 75 (2) 127-137. p.

NAGY B. (2008): Új cég a mezőgazdasági GPS-ek szolgálatában. *Agrofórum*, 19 (9) 96. p.

NGUYEN D.A. és RHODES M.J. (1998): Producing fine drops of water by twin-fluid atomisation. *Powder Technology*, 99 (3) 285-292. p.

NORDBO E., STEENSEN J.K. és KIRKNEL E. (1995): Deposition and efficiency of herbicide sprays in sugar beet with twin-fluid, low-drift and conventional hydraulic nozzles. *Crop Protection*, 14 (3) 237-240. p.

NUYTTENS D., BAETENS K., DE SCHAMPHELEIRE M. és SONCK B. (2007): Effect of nozzle type, size and pressure on spray droplet characteristics. *Biosystems Engineering*, 97 (3) 333-345. p.

NUYTTENS D., TAYLOR W.A., DE SCHAMPHELEIRE M., VERBOVEN P. és DEKEYSER D. (2009): Influence of nozzle type and size on drift potential by means of different wind tunnel evaluation methods. *Biosystems Engineering*, 103 (3) 271-280. p.

NUYTTENS D., DE SCHAMPHELEIRE M., VERBOVEN P. és SONCK B. (2010): Comparison between indirect and direct spray drift assessment methods. *Biosystems Engineering*, 105 (1) 2-12. p.

PANNETON B. (2002): Image Analysis of Water Sensitive Cards for Spray Coverage Experiments. *Applied Engineering in Agriculture*, 18 (2) 179-182. p.

PÁLYI B. (2010): Korszerű eszközök a növényvédelmi kijuttatástechnikában. *Mezőgazdasági Technika*, LI (2010. január - Különszám) 62-65. p.

PÁLYI B. (2011): Korszerű műszaki megoldások a permetezéstechnikában. *Értékálló Aranyakorona*, 11 (3) 31-33. p.

PIGGOTT S.J. és MATTHEWS G.A. (1999): Air Induction nozzles: a solution to spray drift? *International Pest Control*, 41 (1) 24-28. p.

REISINGER P. (2008): A precíziós gazdálkodás növényvédelmi vonatkozásai. *Agrofórum*, 19 (6/M - júniusi melléklet: Útkeresés XIV. fórum a precíziós gazdálkodásról) 13-16. p.

REISINGER P. és BORSICZKY I. (2009): Precíziós gyomszabályozás „Gyomvadász" intelligens szórófejjel. *Agrofórum,* Extra 27. (2009. január) 68-69. p.

RIETZ S., PÁLYI B., GANZELMEIER H. és LÁSZLÓ A. (1997): Performance of Electronic Controls for Field Sprayers. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 68 (4) 399-407. p.

SALYANI M. és FOX R.D. (1999): Evaluation of Spray Quality by Oil- and Water-sensitive Papers. *Transactions of the ASAE*, 42 (1) 37-43. p.

SAYINCI B., BASTABAN S. és SÁNCHEZ-HERMOSILLA J. (2012): Determination of Optimal Spot Roundness Variation Interval for Droplet Size Analysis on Water Sensitive Paper. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 14 (2) 285-298. p.

SÁNCHEZ-HERMOSILLA J. és MEDINA R. (2004): Adaptive Threshold for Droplet Spot Analysis Using Water-sensitive Paper. *Applied Engineering in Agriculture*, 20 (5) 547-551. p.

SÁNDOR I. (2012): Permetezőgép összehasonlító teszt a Nagy Talajművelő Show-n. *Agrárágazat*, XIII (10) 88-92. p.

SÁNDOR T., LÖNHÁRD M., TAKÁCS ZS. és PÁLYI B. (2008): Elektronika és informatika alkalmazása növényvédő gépeken. *Acta Agraria Kaposváriensis*, 12 (2) 149-163. p.

SILVA L.L. (2006): The effect of spray head sprinklers with different deflector plates on irrigation uniformity, runoff and sediment yiel in Mediterranean soil. *Agricultural Water Management*, 85 (3) 243-252. p.

SOUTHCOMBE E.S.E. (1988): The BCPC Nozzle Selection System. In: Proceedings of International Symposium on Pesticide Application, Paris, France, 71-78. p.

SZÉKÁCS A. (1999): A növényvédő szerek kockázatai. *Magyar Tudomány*, CV. kötet – Új folyam, XLIV (1) 38-49. p.

SZOBOSZLAY S. és KRISZT B. (2010): Környezeti elemek védelme. Egyetemi jegyzet, Gödöllő, 130 p.

SZTACHÓ-PEKÁRY I. (2004): Permetező-szórófejek hidraulikus cseppképzésének erőhatásokra alapozott elmélete. In: 1. kötet (Előadások) MTA AMB Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás Nr. 28, Szent István Egyetem, Gödöllő, 165-170. p.

SZTACHÓ-PEKÁRY I. (2010): A VEGYSZERES NÖVÉNYVÉDELEM TECHNOLÓGIAI FEJLŐDÉSE A KEZDETEKTŐL NAPJAINKIG. *Növényvédelem*, 46 (6) 275-279. p.

TAMÁS J. (2002): Precíziós mezőgazdaság. Budapest: Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, 144 p.

TESKE M.E., THISTLE H.W., HEWITT A.J. és KIRK I.W. (2002): CONVERSION OF DROPLET SIZE DISTRIBUTIONS FROM PMS OPTICAL ARRAY PROBE TO MALVERN LASER DIFFRACTION. *Atomization and Sprays*, 12 (1-3) 267-281. p.

THOMSON S.J. és LYN M.E. (2011): Environmental and spray mixture effects on droplet size represented by water-sensitive paper used in drift studies. *Transactions of the ASABE*, 54 (3) 803-807. p.

TUCK C.R., BUTLER ELLIS M.C. és MILLER P.C.H. (1997): Techniques for measurements of droplet size and velocity distributions in agricultural sprays. *Crop Protection*, 16 (7) 619-628. p.

TURBA J. (1976): Porlasztók. Budapest: Műszaki Könyvkiadó, 416 p.

VAN DE ZANDE J.C., HOLTERMAN H.J. és WENNEKER M. (2008): Nozzle Classification for Drift Reduction in Orchard Spraying: Identification of Drift Reduction Class Threshold Nozzles. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*, X 1-12. p.

VINICZAI S. (2009): Precízen a mezőgazdaságban. *Magyar Mezőgazdaság*, 64 (26) 18-19. p.

WANG J., HUANG H., XU W.Z., ZHANG Y.R., LU B., XIE R.Z., WANG P. és YUN N. (2009): Prefilming twin-fluid nozzle assisted precipitation method for preparing nanocrystalline HNS and its characterization. *Journal of Hazardous Materials*, 162 (2–3) 842-847. p.

WEHMANN H.J. (2010): Actual survey about inspection of sprayers in the European countries. In: Workshop proceedings (Julius-Kühn-Archiv 426) of Third European Workshop on Standardised Procedure for the Inspection of Sprayers in Europe - SPISE 3 -, Brno, Czech Republic, 48-52 p.

WEHMANN H.J. (2012): Survey on the actions of the MS to implement the inspection systems of sprayers concerning the franework directive. In: Book of Abstracts – Supporting Documents of Fourth European Workshop on Standardised Procedure for the Inspection of Sprayers in Europe - SPISE 4 -, Lana, Italy, 18 p.

WICKE H., BÄCKER G. és FRIEßLEBEN R. (1999): Comparison of spray operator exposure during orchard spraying with hand-held equipment fitted with standard and air injector nozzles. *Crop Protection*, 18 (8) 509-516. p.

WOLTERS A., LINNEMANN V., VAN DE ZANDE J.C. és VEREECKEN H. (2008): Field experiment on spray drift: Deposition and airborne during application to a winter wheat crop. *Science of The Total Environment*, 405 (1-3) 269-277. p.

ZAIDI S.H., ALTUNBAS A. és AZZOPARDI B.J. (1998): A comparative study of phase Doppler and laser diffraction techniques to investigate drop sizes in annular two-phase flow. *Chemical Engineering Journal*, 71 (2) 135-143. p.

9. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Mindenekelőtt témavezetőimnek, Dr. Szoboszlay Sándornak és Dr. Fenyvesi Lászlónak mondok köszönetet, akik megtiszteltek bizalmukkal, támogattak kutatási tevékenységemben, és iránymutatást nyújtottak részemre.

Külön köszönet is megilleti Dr. Fenyvesi Lászlót, aki munkáltatóm főigazgatójaként első munkanapom óta folyamatosan biztosítja számomra a szükséges szakmai, infrastrukturális, anyagi és emocionális hátteret, továbbá a kellő mértékű motivációt.

Ehelyütt is kifejezem hálámat Dr. Dimitrievits Györgynek, aki szakmai tudásának és 50 éves tapasztalatának, szakmai kapcsolatrendszerének, valamint emberi tulajdonságainak és hozzáállásának köszönhetően elévülhetetlen érdemeket szerzett abban, hogy eljutottam disszertációm megírásáig.

Köszönettel tartozom továbbá közvetlen munkahelyi felettesemnek, Dr. Csatár Attilának és egykori, illetve jelenlegi közvetlen munkatársaimnak, Kovács Lászlónak, Darnyik Árpádnak, Pumb Györgynek és Bablena Adriennek, akik kutatás-fejlesztési, vizsgálati tevékenységemhez a legtöbb segítséget nyújtották, ösztönöztek és - ha szükségét érezték - építő kritikával illettek. Köszönetet mondok kolléganőmnek, Maszlag Katalinnak azért, hogy kérésemre önként vállalt, értekezésem fejezetről-fejezetre történő ellenőrzésére vonatkozó funkcióját eredményesen betöltötte, és hálás vagyok az összes kollégámnak, valamint minden partneremnek, akik munkavégzésemet segítették.

Köszönöm Dr. Lehoczki Róbertnek a disszertációmban közölt vizsgálati eredmények statisztikai elemzése vonatkozásában nyújtott segítségét.

Doktori értekezésemet szerető feleségemnek, szüleimnek, valamint igaz barátaimnak ajánlom, akik mindvégig kitartottak mellettem, türelemmel viseltettek irányomban, odafigyeltek rám és fáradhatatlanul motiváltak.